

Tomi Pekkarinen & Tuomo Kangasrääsiö

**PINTAKÄSITTELYN ENERGIANKÄYTÖN
SELVITYS MELLANO OY:lle**

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka & Puutekniikka

Huhtikuu 2011

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö YLIVIESKA	Aika Huhtikuu 2011	Tekijä/tekijät Tomi Pekkarinen Tuomo Kangasrääsiö
Koulutusohjelma Sähkötekniikka, Puutekniikka		
Työn nimi Pintakäsittelyn energiankäytön selvitys Mellano Oy:lle.		
Työn ohjaajat Kari Pieniniemi, Kaija Arhio, Elisa Saarela		Sivumäärä 62+12
Työelämäohjaaja Erkki Kaatrasalo		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Mellano Oy:lle, joka on osa Suomessa toimivaa PRT-Forest Oy konsernia. Mellano Oy:n Lapinlahden tuotantolaitos sijaitsee keskeisellä paikalla Itä-Suomessa, lähellä Kuopiota. Keittiökalusteiden ja ovien valmistamiseen keskittynyt tehdas on erikoistunut MDF-levyjen ja niihin liittyvien osakomponenttien valmistamiseen. Tehtaan vuosittainen tuotanto on noin 500000 ovea vuodessa.</p> <p>Työn tarkoituksena oli laskea Mellano Oy:n maalaamojen poistoilmojen mukana kulkevat energiamäärät. Lisäksi energiaselvityksen ohella tarkastellaan puun teollisten pintakäsittelyprosessien perustekniikoita. Työssä pyrittiin myös määrittämään poistoilmojen kautta hukattavan energian rahallinen määrä vuodessa. Energiamittausten yhteydessä käsiteltiin myös mittauslaitteiden perustietoja sekä niitä koskevia vaatimuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä on tarkasteltu ilman sisältämän lämpöenergian talteenottamiseen soveltuvia laitteistoja ja niiden ominaisuuksia. Energian talteenottamisvaihtoehtojen yhteydessä esitellään myös muutamia ehdotuksia energiakäytön tehostamis- ja säästämahdollisuuksista Mellano Oy:lle, koskien pääasiassa maalausprosessien poistoilmojen energian hyödyntämistä yrityksessä LTO-laitteiden avulla.</p>		

Asiasanat

Pintakäsittely, MDF-levy, energia, energiakartoitus, mittaus, energiansäästö, lämmön talteenotto

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date April 2011	Author Tomi Pekkarinen Tuomo Kangasrääsio
Degree programme Electrical Engineering, Wood Technology		
Name of thesis Energy consumption report of surface finishing		
Instructor Kari Pieniniemi, Kaija Arhio, Elisa Saarela		Pages 62+12
Supervisor Erkki Kaatrasalo		
<p>This thesis was made for Mellano Ltd, which is a part of Finland's PRT-Forest Oy Group. Mellano Ltd. Lapinlahti's manufacturing plant is located in eastern Finland, near Kuopio. The factory focuses on manufacturing kitchen furniture and doors and is specialized in MDF and the production of part components. The factory's annual production is around 500,000 doors a year.</p> <p>The aim was to calculate Mellano Ltd's removal exhaust air energy content in the painting processes. In addition to the energy research, the basic industrial processes and techniques of surface finishing were viewed. The thesis also aimed at determining the value of energy in the exhaust air in a year. In connection with the energy measurements also the basics of measurements and measuring devices were discussed as well as the requirements concerning them.</p> <p>This thesis examined the features of the energy recovery systems that are suitable for recovering energy contents from air. Linked with energy recovery systems, ideas for improving and saving options for energy usage for Mellano Ltd were also suggested.</p>		

Key words

Surface finishing, energy, survey of energy, measurement, energy saving, heat recovery

ESIPUHE

Haluamme kiittää Mellano Oy:n yritystä mahdollisuudesta tähän opinnäytetyöhön. Koulun puolesta erityiskiitoksen ansaitsevat puutekniikan koulutusohjelman kehitysinsinööri Elisa Saarela ja yliopettaja Kaija Arhio sekä energiatekniikan koulutusohjelman lehtorit Kari Pieniniemi ja Yrjö Muilu. Erityiskiitoksen ansaitsee myös Mellano Oy:n tekninen päällikkö Erkki Kaatrasalo yrityskohtaisen aineiston keräämisen avustamisesta.

Kiitämme erityisesti opinnäytetyön ohjaavia opettajia, jotka ovat uhranneet omaa aikaansa ja auttaneet teknisissä asioissa sekä laskemisessa eteenpäin kohti valmistamamme.

Ylivieskassa 15.4.2011

Tomi Pekkarinen & Tuomo Kangasrääsiö

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Abs	Absoluuttinen kosteus
Biosidi	Eliöntorjunta-aine
CNC	Computerized Numerical Control
Entalpia	Energiasisältö, J/kg
h	Entalpia-arvo, ilman energiasisältö
LTO	Lämmöntalteenotto
MDF	Medium Density Fibreboard
Pintakäsittely	Puun hionta-, lakkaus-, maalaus- ja kuivausprosessit
RH	Suhteellinen kosteus
T	Lämpötila, °C
Td	Kuivalämpötila, °C
Täyttökyky	Maalin peittävyyskyky
V	Tilavuusvirtaus, m ³ /s

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE

KÄSITTEET JA LYHENTEET

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 MELLANO OY.....	2
3 PUUNTYÖSTÖN JA PINTAKÄSITTELYN TEORIAA	3
3.1 MDF-levyn valmistus	3
3.2 MDF-levyn ominaisuuksia.....	4
3.3 MDF-levyn käyttö	4
3.4 Hiomisprosessi.....	5
3.5 Hiontalaitteet.....	6
3.6 Maalit ja lakat.....	7
3.7 Ruiskumaalaustilat ja ruiskutusmenetelmät.....	7
3.7.1 Hajoitusilmaruiskutus.....	9
3.7.2 Matalapaineruiskutus	9
3.7.3 Korkeapaineruiskutus	10
3.7.4 Ilma-avusteinen korkeapaineruiskutus	10
3.7.5 Lämpöruiskutus	11
3.7.6 Statiikkaruiskutus	11
3.7.7 Ruiskuautomaatit	13
3.8 Kuivaustunnelit	14
3.9 Kerroskuivaajat.....	15
4 MELLANO OY:N PINTAKÄSITTELYPROSESSIT.....	16
4.1 Pintakäsittelylinja 1	16
4.2 Pintakäsittelylinja 2	17

4.3 Käsimaalauslinja	18
5 ILMANVAIHTOKONEISTON PERUSRAKENTEET	19
5.1 Säleiköt ja säätöpellit.....	20
5.2 Suodattimien käyttötarkoitus	22
5.3 Suodatintyypit	23
5.4 Tuloilman esi- tai jälkilämmityspatteri	24
5.5 Kostutuslaitteisto.....	25
5.6 Puhaltimet ja äänenvaimentimet	26
6 ILMASTOINNIN MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA	28
6.1 Mittausten olosuhteet ja tarkoitus	28
6.2 Mittauspöytäkirjan laadinta.....	29
6.3 Mittauslaitteiston kalibroiminen ja mittausvirheet	30
6.4 Lämpötilan ja kosteuden mittaus.....	31
6.5 Ilman tilavuusvirtojen mittaus	33
6.5.1 Kuristusmittarit.....	34
6.5.2 Siipipyörräanemometrit.....	34
6.5.3 Pussimenetelmät	35
6.5.4 Kuumalankamittarit ja poistoilmasuppilot.....	36
6.5.5 Pitot-putki	37
6.5.6 Mittausmenetelmät.....	38
6.5.7 Mittausten häiriötekijät ja suojaetäisyyskertoimen käyttäminen	40
6.5.8 Mittausepävarmuuden määrittäminen.....	43
7 MITTAUSTEN JA ENERGIALASKENNAN SUORITTAMINEN MAALAAMOJEN POISTOILMOISTA.....	44
7.1 Mittauksissa käytettävät laitteet	44
7.2 Mittaustulosten analysointi ja laskelmat.....	45
8 LÄMMÖN TALTEENOTTAMISMENETELMÄT	48

8.1 Lämmöntalteenotto ilmastointijärjestelmästä	48
8.2 Lämmönsiirtimien erityisvaatimukset	49
8.3 Yleisimmät lämmönsiirrintyytit	50
8.3.1 Levylämmönsiirtimet	50
8.3.2 Pyörivä lämmönsiirrin	51
8.3.3 Nestekiertoiset lämmönsiirtimet ja massavaraaja	53
8.4 Lämmönvaihtimien lämmitys- ja jäähdytystehon määrittely	55
8.5 Lämmönvaihtimen hyötysuhteen määrittelemisen lämpötiloja hyödyntäen	55
8.6 Mellano Oy:n nykyinen lämmöntalteenottolaitteisto	56
9 POISTOILMOJEN LÄMMÖNTALTEENOTTAMISEHDOTUKSET	58
10 YHTEENVETO	60
LÄHTEET	61
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Mellano Oy:n Lapinlahden puun pintakäsittelyyn keskittyneen tehtaan maalauslinjastoille. Mellano Oy:n Lapinlahden tehtaassa on käytössä kaksi maalauslinjastoa ja yksi käsimaalauslinjasto, joiden tuotanto on erittäin merkittävä koko yrityksen toiminnalle. Maalauslinjastojen prosessien vaatimat olosuhteet vaativat paljon energiaa ja ilmastointilaitteet pitävät huolen maaluspisteiden vaativasta ilmanvaihdosta. Koska maalausprosessissa on monta pintakäsittelyvaihetta, se tarvitsee paljon energiaa lämmön ja kosteuden muodossa.

Suurin osa prosessien käyttämästä energiasta hukkaantuu kuitenkin jatkuvasti päällä olevan poistoilmapuhalluksen mukana suoraan ulos ilman minkäänlaista suurempaa lämmöntalteenottoa. Koska prosessit kuluttavat paljon energiaa sekä lämpöenergian hinta on jatkuvassa nousussa, on energianhyödyntämistoimenpiteiden suorittaminen mahdollisesti ajankohtaista lähitulevaisuudessa. Esiselvityksenä hukattavan ilman energiasisällön määrittämiseksi suoritettiin mittauksia Mellano Oy:n maalauslinjojen poistoilmojen energiasisällöistä. Tähän opinnäytetyöhön liittyvä mittausesiselvitys antaa yritykselle keskimääräisen arvion poistoilmojen energiasisällöistä vuositasolla.

Koska mittaukset suoritettiin puun pintakäsittelyyn keskittyneessä yrityksessä, oli energiamittausten ohella myös hyvä perehtyä puun teollisen pintakäsittelyn nykyaikaisiin prosesseihin ja niiden vaatimuksiin. Pintakäsittelyn pääasiallisia vaiheita yrityksessä ovat hionta-, maalaus-, lakkaus- sekä kuivausprosessit. Tämän työn teorian avulla voidaan havainnollistaa pintakäsittelyprosessien vaiheita sekä niihin liittyvien ilmastointilaitteistojen toimintaa ja rakennetta melko tarkasti. Työ antaa myös perusteellisen kuvauksen MDF-levyn teollisesta pintakäsittelystä ja siihen liittyvistä laatuvaatimuksista.

2 MELLANO OY

Mellano Oy on nykyään yksi PRT-Forest konsernin seitsemästä tytäryhtiöstä. PRT-Forest Oy, entinen Pyhännän Rakennustuote Oy, perustettiin vuonna 1967 Pyhännän kunnan teollistamislautakunnan toimesta. Mellano Oy liitettiin siihen vuonna 1992. Mellano Oy on Suomen johtava kodin kiintokalusteiden komponenttien valmistaja ja suurin MDF-ovien valmistaja. Yritys on erikoistunut vaativiin, nopeisiin ja joustaviin toimituksiin sekä korkeaan laatutasoon. Yritys toimittaa kaikki kiintokalusteiden komponentit: ovet, tasot, helat, liukuovet, rungot ja muut kalusteisiin liittyvät tarvikkeet. Tuotteiden valmistuksessa käytetään testattuja ja laadukkaita materiaaleja. Yritys kehittää jatkuvasti uusia ajanmukaisia tuotteita asiakkaiden erilaisiin tarpeisiin. (Sydänmetsä 2010; Mellano 2011.)



KUVIO 1. Mellano Oy

3 PUUNTYÖSTÖN JA PINTAKÄSITTELYN TEORIAA

Jokaisen yrityksen on tehtävä oma valinta käytettävästä pintakäsittelytekniikasta ja työstävistä laitteista. Valinnassa on otettava huomioon, millaisia ominaisuuksia käsiteltävällä puulla on ja millaista työstöä se vaatii. Pintakäsittelyprosessia vaativista yrityksistä löytyy maalauslaitteiden ja tilojen muodostama kokonaisuus, eli maalaamo. Tässä kokonaisuudessa tärkeimpiä laitteita ovat hionta- maalaus- ja kuivauslaitteet. Kokonaisuuden eri vaiheita yhdistää kuljetinkoneisto, joka kuljettaa linjalla kappaleita määrätyllä nopeudella. Hioma-, maalaus- ja kuivauskoneisiin on yhdistetty ilmanvaihtolaitteisto epäpuhtauksien ja höyryjen takia, jotta pinnoitus tapahtuisi mahdollisimman hyvissä olosuhteissa.

3.1 MDF-levyn valmistus

MDF-levy on kuivamenetelmällä valmistettua puolikovaa kuitulevyä. Raaka-aineeksi kelpaavat puut ja puumaiset kasvinosat, joista on mahdollista valmistaa kuitumassaa. Kuikan ja Kuneliuksen (1992, 91.) mukaan kuorta voi olla 8-10 % koko määrästä. Valmistuksessa pienijakeista raaka-ainetta, kuten purua tai pölyä, ei usein voida hyödyntää. Kuopanportin (2003, 6.) mukaan MDF-levyn valmistus kuivamenetelmällä aloitetaan kuorimalla ja katkomalla puiden rangat sopivan mittaisiksi. Kuivamenetelmäprosessissa mäntyä ja kuusta hierretään kuiduiksi. Hierretyt kuitukimput keitetään 160 °C-asteisessa höyryssä, jossa kuitukimput hajoavat massaksi. Kuitumassa kuivataan tuubikuivureissa noin 290 °C -asteessa 6–12 %:n kosteuteen. Tämän jälkeen kuituihin lisätään kymmenesosa sideaineita, kuten formaldehydihartsia. Kuitumassa puristetaan kuumapuristus vaiheessa levyksi korkeassa paineessa ja korkeassa yli 200 °C -asteessa, jossa puun omia liima-

aineita ei voi hyödyntää. Viimeisenä vaiheena levyt jäähdytetään, pinkataan, hiotaan ja sahataan. (Kuikka & Kunelius 1992, 91–95; Kuopanportti 2003, 6.)

3.2 MDF-levyn ominaisuuksia

MDF-levyn tiheys vaihtelee raaka-aineen mukaan 600–1000 kg/m³:n välillä. Raaka-aineiden eli männyn ja kuusen tiheys on korkeimmillaan 860 kg/m³ männyllä ja 640 kg/m³ kuusella. MDF-levyn korkea tiheys saadaan aikaan sideaineilla ja kuumapuristuksella. MDF-levy on lujuudeltaan ja tiheydeltään homogeenista x-, y- ja z-suunnassa, mikä tekee sen työstämisen helpoksi. Homogeenisyys ja tiiviys tuovat levyn ominaisuuksiin tavallista puuta paremman kosteudenkestävyyden, säänkestävyyden ja palonkestävyyden. Tehtaan lupaama kosteuspitoisuus MDF-levylle on 6–8 %, kun taas kuivatun sahatavaran kosteuspitoisuus on normaalisti 18–24%. MDF-levyn hydrofiilisyys on sen huono puoli. Veden imeytyvyys MDF-levyyn 24 tunnin aikana on noin 16–20 % mikä aiheuttaa 6–8 % turpoaman. Haatajan (2004, 2.) mukaan se imee vettä itseensä ja menettää ominaisuuksiaan sekä turpoaa. (Kuikka & Kunelius 1992, 91–95; Haataja 2004, 2.)

3.3 MDF-levyn käyttö

MDF-levyä käytetään esimerkiksi keittiö- ja huonekaluteollisuudessa sen lujuus- ja kestävyysominaisuuksien takia. MDF-levystä tehdään yleensä myös ovia ja monenmuotoisia levyosia. MDF-levyjen hyvä työstettävyyys mahdollistaa hankalimmatkin työstöt. Massiivipuuhun verrattuna MDF-levyssä ei ole oksia eikä halkeamia. Levyn pinta on sileä, tiivis ja tasainen, tämän takia se on helppo pintakäsittellä. MDF on myös sopivaa päällystettäväksi ohuilla jaloviiluilla, vinyylillä, kalvoilla ja melamiinipaperilla. Tehtaalla MDF-levyyn pannaan vahaa ja parafiinia

kalvoksi estämään kosteuden imeytymistä. Tämä vahapinta on rikottava hiomalla ennen maalausta, koska muuten tasainen imeytyminen pinnan läpi vaikeutuu. MDF-levystä valmistetuissa keittiökalusteissa on usein CNC-koneella työstettyjä uurteita. Auki jyrssitty MDF:n pinnan alla on harvempi levyaines joka imee runsaasti maalia. Harvemman levyaineen kostuminen nostattaa sen kuituja pysyyn. Tämä ilmiö huomataan erittäin selvästi, mikäli käytetään vesiohenteisia maaleja. Näin ollen jyrssintäjälki on todella vaativa kohde pintakäsittelyssä. Näitä levyntyöstön aiheuttamia ongelmia ei voi korjata pintakäsittelyn asetuksilla. Parhaimpaan laatuun päästään, kun levyn työstöprosessissa pidetään huolta siitä, että leikkaavat terät ja laitteet ovat mahdollisimman hyvässä kunnossa. Käytännössä parhaimpaan tulokseen jyrssintäjäljen maalauksessa päästään käyttämällä liuotinohenteisia maaleja ja hiomalla uran pohja jokaisen pintakäsittelyn jälkeen. (Kuikka & Kunelius 1992, 91–95.)

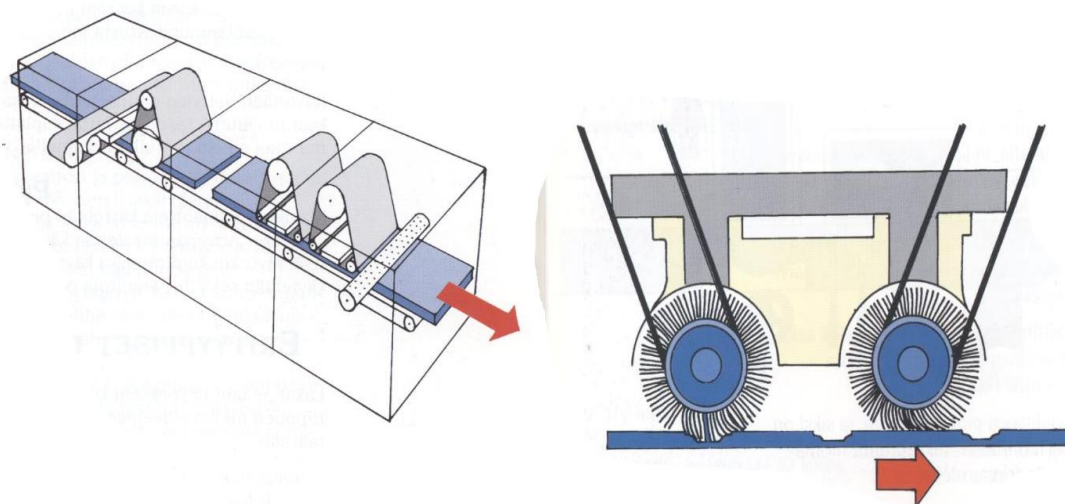
3.4 Hiomisprosessi

Työstettävän kappaleen pinnanlaatuun ja pintakäsittelyn lopputulokseen vaikuttaa hiontatekniikka. Hionnassa työkaluna käytetään hiontapaperia, jonka karkeusarvot on määritelty numeroilla. Hiomisprosessin vaiheet ovat materiaalin poisto, välihionta sekä viimeistelyhionta. Materiaalin voimakas poisto hionta saadaan aikaan hiomapaperilla, jonka karkeus on 24–50. Mitä pienempi arvo on, sitä korkeampi on karkeus. Välihiontaan käytetään 280–800:n ja viimeistelyhiontaan eli pohjahiontaan 120–180:n karkeuden omaavaa hiontapaperia. Hionnalla voidaan vaikuttaa tarvittavan lakan määrään ja välihionnan tarpeeseen. Voimakas hionta aiheuttaa ns. tikunnousua, joka sitoo pääosan pohjalakasta itse puupintaa korkeammalle. Tällöin välihionta voi ottaa ison osan pohjalakasta. Hionta tapahtuu askeleittain karkeammasta hienompaan koneen eri hiomanauhoilla. Tarvittava hiontanauhojen määrä ennen pintakäsittelyä MDF-levyn hionnassa on noin kolme.

MDF-levy hiotaan 180, 220 ja 280:n karkeuden omaavilla hiomanauhoilla. Pohjahionnassa poikittaishionnalla poistetaan liat, kuten pihka ja liima. Välihionnassa poikittaishionnalla katkaistaan pystyyn nousseita kuituja. (Voutilainen, Jussila, Kuikka, Mononen & Vuorenmaa 1993, 124.)

3.5 Hiontalaitteet

Yleisin yritysten käyttämä hiomakone on leveänauhahiomakone. Koneen sisällä on 1–3 hiomanauhaa siten, että ensimmäisinä hiomanauhoina karkeammat ja loppupäässä hienoimmat viimeistelynauhat. Hiomanauhan pituus on yli 2,5 m ja työstöleveys noin 1,5 m. Jotta kaikilla hiomanauhoilla pystytään työstämään, on niiden oltava pystyitasossa. Laitteessa pyörivä kumimatto luo syöttöliikkeen ja se liikuttaa kappaletta hiomanauhojen alla. Kone soveltuu sekä pinta- että paksushiontaan. Lisäksi sitä käytetään kuivuneen lakka- ja maalipinnan välihiontaan. Leveänauhahiomakoneiden perään on yleensä asennettu harjahiomakone, koska sillä tehdään viimeistelyhionta ennen pintakäsittelyä. Harjahiomakoneessa harjan karkeus on 60–200:n luokkaa. (Voutilainen ym. 1993, 126)



KUVIO 2. Leveänauha- ja harjahiomakone (Becker Acroma 2000, 9-30.)

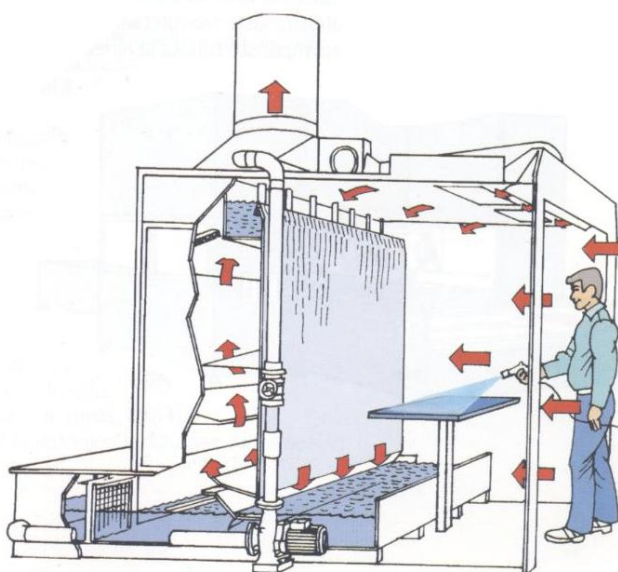
3.6 Maalit ja lakat

Maalit koostuvat pigmenteistä, sideaineista, liuotteista ja apuaineista. Jos maalissa ei ole pigmenttejä, sitä sanotaan lakaksi. On olemassa vesiohenteisia sekä liuotinohenteisia maaleja ja lakkoja. Liuoteohenteisissa aineissa sideaine on dispergoitu tai liuotettu orgaaniseen liuottimeen ja vesiohenteisissa aineissa sideaine on dispergoitu veteen. Dispergointi tarkoittaa pigmenttien hajoittamista liuotteeseen. Liuote tai ohenne on haituva neste, jolla voidaan muuttaa liuoteohenteisen aineen viskositeettia. Levityksen ja kuivumisen aikana neste haihtuu maalikalvosta. Pintakäsittelyssä käytetään yleensä lakkaus- tai maalausyhdistelmää. Lakkausyhdistelmällä eli pohjustus- ja pintalakkauksen yhdistelmällä saadaan aikaan kiiltävä ja läpinäkyvä pinta. Pohjustuslakkauksella saadaan pinnalle hyvä kirkkaus ja lisäksi pohjalakattua pintaa on helppo hioa. Pintalakkauksella pinnalle saadaan kiiltävyys ja kovuus. Maalausyhdistelmällä eli pohja- ja pintamaalauksella saadaan pintakäsittelyyn peittävyysominaisuus. Pohjamaalauksella on hyvä täyttökyky ja sen luomalla pinnalla on hyvä hiottavuus. Pintamaalauksella saadaan aikaan kova ja kestävä pinta sekä haluttu kiilto ja väri. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.7 Ruiskumaalaustilat ja ruiskutusmenetelmät

Pintakäsittelyprosessissa saadaan aikaan hyvä pinnanlaatu, kun käytetään erityisiä ruiskutustiloja. Käsiruiskutuksessa käytetään ruiskupistoolia ja ruiskumaalaustilana käytetään ruiskuboksia, ruiskukaappia tai ruiskuhuonetta. Ruiskutustilassa liuotinhöyryt, ruiskutushiukkaset ja ohiruiskutus poistetaan ilmastoinnin ja suodattimien avulla. Tällaisessa tilassa jatkuva ilmapvirtaus ja tuuletus ovat tärkeitä. Tuloilma esisuodatetaan pölyhiukkasista pinnoitteen hyvän laadun varmistamiseksi. Kylminä aikoina tuloilma lämmitetään huoneenlämpöiseksi, jotta maalipinta ei jähmettyisi. Ruiskutustilassa käytetään

kuiva- tai märkäsuodatinta tai yhdistelmäsuodatinta. Märkä- eli vesisuodatin on tehokkaampi kuin kuivasuodatin ja sitä tulisi käyttää ruiskutuksen ollessa jatkuvaa. Kuivasuodatin tiloissa pinnoitteiden ohiruiskutus poistetaan lasikuitu- tai paperisuodattimella. Tällaisessa menetelmässä pinnoitejäänteiden poistoteho on 70–90 %, kun tuuletusilman nopeus on noin 0,5 m/s. Kuivasuodattimilla varustettujen ruiskutustilojen määrä on jatkuvassa kasvussa, koska vesiverhokaappien vesi on käytön jälkeen ongelmajätettä. Märkäsuodatin tiloissa ohiruiskutettu maali ja lakka sitoutuu vesiverhojärjestelmässä virtaavaan veteen. Tässä menetelmässä veteen on sekoitettu saostusaineita, kuten koagulointikemikaaleja, joiden avulla pinnoitejäänteet muuttuvat tarttumattomaksi massaksi ja painuvat pohjalle tai nousevat veden pinnalle. Tuotantoprosessissa saostusainetta tulee käyttää ruiskutettavan pinnoitemäärän mukaisesti, jotta se voi rikastua liuottimeen. Pohjalle painunut maalisakka poistetaan maalauskaapista joko jatkuvatoimisesti tai manuaalisesti. Massa ohjataan sakanerotusaltaaseen, jossa se poistetaan vedestä. Massasta annetaan valua ylimääräinen vesi pois, jonka jälkeen se viedään sakankäsittelyyn tai tuhottavaksi. (Voutilainen ym. 1993, 185.)



KUVIO 3. Ruiskumaalausprosessi vesiverhokaapissa (Becker Acroma 2000, 17.)

3.7.1 Hajoitusilmaruiskutus

Hajoitusruiskutus on ruiskutusmenetelmä, jossa pinnoite ruiskutetaan maalipistoolin suuttimen läpi paineilmalla, jonka paine on noin 1,5–6 baaria. Pinnoite syötetään ruiskupistoolin suuttimeen joko painovoimaisesti yläsäiliöstä tai imetään alapuolella olevasta säiliöstä. Pinnoitteen määrää voidaan säätää paineilman virrannopeuden avulla. Tämän menetelmän etuja ovat tasainen levitys, mahdollisuus käyttää erilaisia pintoja, hyvä laatu ja se, että viuhkan leveyttä ja materiaalin käyttökulutusta on helppo säätää. Menetelmän suurimpia haittoja ovat alhainen tuotantonopeus ja suhteellisen suuri liuottimen menekki. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.7.2 Matalapaineruiskutus

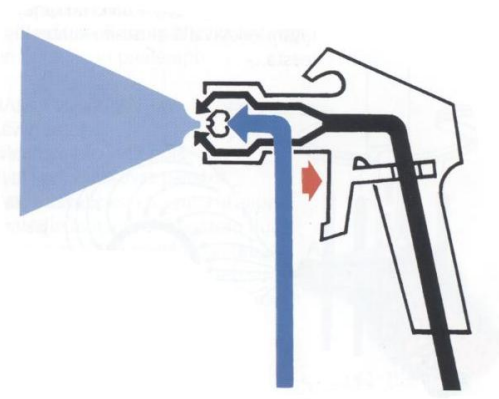
Matalapaineruiskutuksessa käytetään paineilmaa, jonka paine ruiskupistoolissa on enintään 0,7 baaria. Pinnoite syötetään suuttimeen paineastiasta tai imetään ruiskun ala- tai yläsäiliöstä. Ruiskutuksessa avautuu ensin paineilmaventtiili, jonka jälkeen pinnoite kulkee suuttimen läpi. Pinnoite ja paineilma kohtaavat suuttimen ulkopuolella, jossa pinnoite hajoaa pieniksi pisaroiksi eli sumuksi. Sumuviuhkan leveyttä säädetään paineilma avulla. Menetelmän etuja ovat tasainen pinnoitus alemmaa painetta käyttäen, mahdollisuus käyttää erilaisia pinnoiteaineita, hyvä laatu ja viuhkan leveyden säätömahdollisuus, sekä pinnoituksen edullisuus verrattuna hajoitusilmaruiskutukseen. Huonoja puolia tässä menetelmässä ovat hidas tuotantotahti ja suuri pölyäminen. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.7.3 Korkeapaineruiskutus

Korkeapaineruiskutuksessa paine tuotetaan mäntäpumpulla. Tässä menetelmässä pinnoite syötetään pistoolin suuttimeen korkealla 90–360 baarin paineella. Viuhkan muodostuminen tapahtuu suuttimen läpimenossa paineen laskiessa nopeasti. Viuhkan leveyttä ja muotoa voidaan säätää vaihtamalla ruiskun suutinta. Parempaan kuvioon päästään käyttämällä esisuutinta, jolloin tulee parempi ruiskukuvio. Tämän menetelmän etuja ovat suuri tuotantonopeus, mahdollisuus käyttää korkean viskositeetin omaavia pinnoitteita sekä mahdollisuus tehdä paksumpi pinnoitekalvo kuin matalapaineruiskutuksessa. Haittoja ovat viuhkan leveyden ja pinnoitemäärän säätö, joka voidaan tehdä vain suutinta vaihtamalla. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.7.4 Ilma-avusteinen korkeapaineruiskutus

Ilma-avusteiset korkeapaineruiskutustekniikat, eli Airmix, Air-Plus ja Air-Assisted ruiskutukset ovat korkea- ja matalapaineruiskutuksen yhdistelmiä. Tässä tekniikassa pinnoiteaine syötetään korkeapainepumpulla suuttimeen alhaisella noin 15–45 baarin paineella. Suihkun hajotukseen eli sumun säätöön käytetään lisäpainetta mikä on enintään 2,0 baaria. Tällä menetelmällä saadaan aikaan hyvä pinnoitteen sumutus ja hyvin pieni pölyäminen. Ruiskupistoolissa käytetään korkeapainesuutinta, sekä ilmasuutinta lisähajotukseen ja ruiskukuvion säätöön (KUVIO 4). Tässä ruiskutusmenetelmässä yhdistyvät suur- ja pienpaineruiskutuksen edut. Tämä on yleisin käytössä oleva ruiskutustapa, kun tehdään puupintojen korkealaatuisia pinnoitteita. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)



KUVIO 4. Airmix-ruiskupistooli (Becker Acroma 2000, 15.)

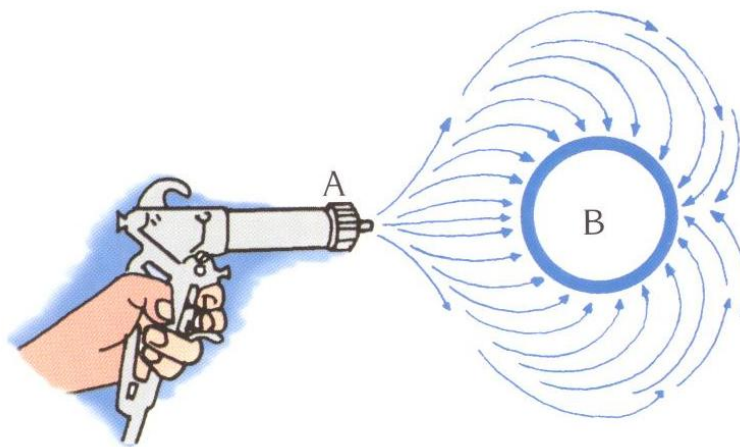
3.7.5 Lämpöruiskutus

Pinnoitteen helppojuoksuisuutta eli viskositeettiä voidaan säätää pinnoiteaineen lämmityksellä. Pinnoite lämmitetään 40–80 °C:een ennen ruiskutusta, kunnes se on tarpeeksi juoksevaa. Lämmitys tapahtuu vedellä, höyryllä, sähköllä tai lämpimällä ilmalla. Viskositeetti vaikuttaa hajoitukseen ja pinnoituksen laatuun. Lämmityksellä vaikutetaan myös tasoittuvuuden saavuttamiseen minimaalisella ohentimen käytöllä. Menetelmällä saavutetaan täyttävämpi lakkaus ja näin ollen lakkauskertoja voi vähentää. Lämmitetyn pinnoitteen täyttökyky on suurempi, se ei valu helposti, ja pinnoite kuivuu nopeammin. Lämmitettyä pinnoitetta voi käyttää hajoitusilma-, suurpaine- sekä statiikkaruiskutuksessa. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.7.6 Statiikkaruiskutus

Sähköstaattisuutta hyödyntävissä ruiskulaitteistoissa käytetään hyväksi sähkökenttää, joka ladataan kahden kappaleen välille. Ruiskupistooliin varataan negatiivinen noin 60 kV:n jännite, ja pinnoitettavaan kappaleeseen erimerkinen positiivinen jännite. Tämä saa aikaan sähkökentän, jossa ruiskutus etenee

voimaviivoja pitkin (KUVIO 5). Ruiskutus etäisyytenä 150–250 mm on laitteesta riippuen paras. Pinnoite varataan ruiskusuuttimessa, josta se etenee voimaviivoja pitkin kappaleeseen. Ruiskun ja kappaleen välille muodostuu statiikkaefektin seurauksena kiertoilmiö. Sähkömagneettisessa kentässä oleva kiertoilmiö pinnoittaa kappaleen myös taka- eli varjopuolelta. Sähkömagneettisen kentän voimistuessa voimistuu myös kiertoefekti. Kun pinnoitepartikkelit kohtaavat kappaleen, joka on maadoitettu, purkautuu negatiivinen lataus. Statiikkalakkaukseen käytetään siihen tarkoitettuja tuotteita. Statiikkaan suunnitelluilla lakoilla on oltava sopiva ominaisvastus, jotta ne pystyvät ottamaan vastaan sähkölatauksen. Näiden tuotteiden leimahduspisteen on oltava yli 21 °C. Tässä menetelmässä statiikkaefekti vaatii ympäröivältä ilmalta yli 50 %:n suhteellisen kosteuden. Puun sähkönjohtavuuteen voidaan vaikuttaa puun kosteuden nostamisella, erikoispohjalakan käytöllä ja laitteiston eristämällä. (Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)



KUVIO 5. Sähköstaattinen ruiskutus (Becker Acroma 2000, 16.)

3.7.7 Ruiskuautomaatit

Ruiskutusautomaatilla tarkoitetaan automaattisesti ruiskuttavaa konetta, jossa kappale etenee talteenottomaton päällä ruiskujen alapuolella. Talteenottomaton yhteydessä olevat apuvälineet ottavat ohiruiskutetun maalin irti matosta. Työkappaleen muoto ja raaka-aine sekä maalityyppi määräävät käytettävän ruiskutusmenetelmän. Automaattiruiskutuksen avulla saatavia etuja ovat esimerkiksi suuri kapasiteetti, tasainen laatu, pienet työkustannukset, maalin kulutuksen taloudellisuus sekä hyvä työympäristö. Niiden käyttöä rajoittavat työkappaleen muoto ja koko. Ruiskuautomaatteihin voidaan kytkeä lähes kaikki olemassa olevat ruiskutusjärjestelmät. Yleisimpiä ruiskuautomaatteja ovat listaruisku-, traverssi-, pysty-, pyöröpöytä-, ketju-, rumpu-, ja karuselliautomaatit. Listaruiskuautomaattia käytetään lakatessa korkealla kapasiteetilla puitteita, karmeja listoja ja muita pienosia. Listaruiskuautomaattilinjan yläpuolelle on yleensä asennettu kolme kiinteää ruiskutuspuistoolia. Työkappale etenee suhteellisen nopeasti kiinteiden ruiskujen alta. (Voutilainen ym. 1993, 191; Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

Traverssi on laite, jossa ruiskut liikkuvat lineaarisesti sekä vakionopeudella kappaleiden ylitse. Ruiskut liikkuvat ruiskukuljettimella poikittain tai ne on kiinnitetty ovaalin, heiluriin, ristiin tai suureen pyörään. Tällä laitteella on mahdollista käsitellä myös reunat ja sivut, jos ne eivät ole noin 10 cm korkeampia. Automaatin työleveys, käytettävien aineiden lukumäärä ja kuljetinnopeus määräävät tarvittavien ruiskujen määrän. Poikittaisautomaatissa voi tarvittavien ruiskujen määrä olla 2, 4, 6, 8 tai enemmän. Traverssissa ruiskutusjärjestelmänä käytetään eniten airmix- ja korkeapaineruiskutusta. (Voutilainen ym. 1993, 191; Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

Uusimmissa malleissa on varusteena kokomattokuljetin, josta ohiruiskutettu lakka kerätään talteen ja voidaan käyttää uudelleen. Kuljetinnopeus tällaisessa laitteessa

on noin 8 metriä minuutissa. Karuselliautomaatissa pistooleja voi olla esim. kaksitoista, joista puolet lakoille ja puolet maaleille. Linjan nopeus karuselliautomaatissa on sama kuin traverssiautomaatissa. Pystyautomaattia käytetään ripustettujen kappaleiden lakkaukseen. Automaatti liikuttaa ruiskutussysteemiä vertikaalisesti työkappaleeseen nähden. Työkappaleen takana on seinänä toimiva matto, josta ohiruiskutus otetaan talteen. Pyöröpöytäautomaatilla maalataan ja lakataan pienet nupit sekä vetimet. Pöytä pyörittää työkappaleet askeleittain ruiskun eteen, jossa kappale pyörii akselinsa ympäri. Ruisku on aseteltu pöydän keskelle suunnattuna ulospäin, missä ohiruiskutus kerätään kuivasuodattimella. (Voutilainen ym. 1993, 191; Pintakäsittelyn perusteet, 2000.)

3.8 Kuivaustunnelit

Kuivaustunnelit jaetaan toimintansa perusteella eri vyöhykkeisiin. Ensimmäisenä vyöhykkeenä on esilämmitysvyöhyke, jossa työkappaleet lämmitetään ennen pintakäsittelyä. Esilämmityksellä pyritään poistamaan ilma puun pintahuokosista, jotta liuottimet haihtuisivat nopeasti pinnoituksen jälkeen. Toisena vyöhykkeenä on haihdutusvyöhyke, jossa ilma poistetaan kalvosta ennen sen kovettamista. Pinnoite ehtii tasaantua ja sen jälkeen laskeutua alustan huokosiin. Suurin osa liuottimista haihtuu ilmakuplien puhkeamisen seurauksena. Haihdutusvyöhykkeessä kierrätettävän ilmapirran tilavuusvirtaus on noin 20 000 m³/h. Tätä vaihetta seuraa kuivausvyöhyke, jossa käytetään korkeampia lämpötiloja kuin haihdutusvyöhykkeessä. Kuivausprosessissa pinnoitekalvo kuivuu ja saa lopullisen kovuutensa. Viimeisessä vaiheessa eli jäähdytysvyöhykkeessä kappale jäähdytetään käsittelylämpötilaan eli alle 35 °C:n. Jäähdytyksen tarkoituksena on estää pinnoitteen pehmeneminen korkeahkossa lämmössä. Ilmavirtauksen määrä on tässä vaiheessa noin 25 000 m³/h. (Voutilainen ym. 1993, 197–198.)

3.9 Kerroskuivaajat

Kerroskuivaajat ovat käytännössä konvektiuuneja, jossa lämmitettyjen pintojen läpi virtaava ilma lämmittää kappaleen. Kapasiteettiinsa verrattuna ne tarvitsevat suhteellisen vähän lattiapinta-alaa. Kerroskuivaajia on toiminnaltaan kolmenlaisia. Kolmelohkoisissa kerroskuivaajissa ensimmäinen lohko on haihdutukseen, toinen kuivaukseen ja kolmas jäähdytykseen. Neljälohkoisessa kerroskuivaajassa ensimmäinen lohko on haihdutukseen, toinen ja kolmas kuivatukseen ja neljäs jäähdytykseen. Kuusilohkoisissa kerroskuivaajissa toimintajakaumaa voidaan muunnella tuotteesta riippuen. Esimerkiksi ensimmäinen lohko on tarkoitettu haihdutukseen, toinen, kolmas ja neljäs kuivaukseen sekä viides ja kuudes lohko jäähdytykseen. Korkein lämpötila kerroskuivaajien kuivausvyöhykkeellä on yleensä noin 80 °C. Kolmelohkoisen kuivaajan haihdutusvyöhykkeessä kuljettimet kulkevat alhaalta ylös, kuivausvyöhykkeessä vaakatasossa ja jäähdytysvyöhykkeessä ylhäältä alas. Neljä- ja kuusilohkoisessa kuivaajassa kuljettimet kulkevat vuoroittain ylös ja alas. Kuljettimet ovat joko tanko- tai mattokuljettimia. Mattokuljettimella ilmavirrat saadaan ohjattua haluttuun suuntaan, mikä nopeuttaa liuottimien poistumista ja siten kuivumista. (Voutilainen ym. 1993, 198.)

4 MELLANO OY:N PINTAKÄSITTELYPROSESSIT

Yritys tilaa MDF-levyjä joiden paksuus vaihtelee 16–40 mm välillä. Levyt paloittel- laan pyörösaahalla oikeisiin mittoihin ja muodot työstetään CNC-koneella. Muo- toon työstettyjen levyjen pintakäsittelyyn käytetään ainoastaan liuotinhenteisiä maaleja ja lakkoja. Pintakäsittelylinjoissa maalin ohiruiskutus otetaan talteen ruis- kuautomaatin talteenottomatosta ja sekoitetaan tuoreeseen pohjamaaliin. Maalaus ja lakkaus prosessien kosteutta pidetään yllä höyry- ja pisarakostuttimilla. Pinta- käsittelylinjastot sijaitsevat eri puolilla tuotantohallia, joiden välissä käsimaalaus ja lakkausprosessit suoritetaan ruiskupistooleilla omassa vesiverhokaapistoilla va- rustetussa tilassa.

4.1 Pintakäsittelylinja 1

Pintakäsittelylinjastolla 1 hoidetaan hionta, maalaus sekä kuivaaminen. Linja alus- sa muotoon työstetyt MDF-levyt nostetaan linjan automaattikuljettimelle, joka kul- jettaa työkappaleen leveänauhahiomakoneeseen. Hiomakone hioo työkappaleen pitkittäissuunnassa kolmella peräkkäisellä hiomanauhalla. Hiomakoneen jälkeen kappale siirtyy harjahiomakoneeseen, jonka jälkeen puhdistimeen. Linjastolla käy- tetään hiomisprosessiin sopivia karkeuksia. Linjalla 1 maalausautomaattina toimii 16-ruiskuinen karuselliruisku, jossa on 8 Airmix-ruiskua pohjamaalaukselle ja 8 Airmix-ruiskua pintamaalaukselle. Tässä prosessissa ilmanvaihtokoneisto estää ylimääräisen maalin pölyämisen ja poistaa liuotinhöyryjä. Lisäksi maalausauto- maatissa on käytössä kostutin, jolla ylläpidetään prosessin kosteusvaatimuksia. Maalauksen jälkeen työkappale kulkee 25-kerroksiseen ilmastoituun kerros- kuivaajaan, jossa työkappale kuivuu noin 35 minuuttia. Kerroskuivaajasta pois- tumisen jälkeen työkappale siirtyy jäähdytyskoneeseen, josta kappale kulkeutuu

kääntäjään, jossa kappale käännetään ylösalaisin. Viimeisenä on kulma-asema, josta kappale voi aloittaa uuden kierroksen. Yksittäinen kappale kiertää linjan neljä kertaa, joten läpimenoaika on kolme tuntia. Ensimmäisellä kierroksella alustavasti pintakäsittelyt työkappaleiden välihionta suoritetaan hiomakoneessa sen hienoimmilla karkeuksilla.

4.2 Pintakäsittelylinja 2

Pintakäsittelylinjan 2 prosesseihin kuuluu hionta, maalaus, lakkaus sekä kuivaaminen. Alussa CNC-koneella työstetyt työkappaleet nostetaan linja automaattikulkettimelle, josta ne kulkeutuvat leveänauhahiomakoneeseen. Uudessa linjassa hiomalaitteina on kaksi leveänauhahiomakonetta ja kaksi harjahiomakonetta. Ensimmäisessä leveänauhahiomakoneessa on kolme peräkkäistä hiomanauhaa. Tämän koneen jälkeen tulee kaksi peräkkäistä harjahiomakonetta, joista ensimmäisessä harjat ovat poikittaissuunnassa ja toisessa pitkittäissuunnassa. Harjahiomakoneiden jälkeen tulee toinen leveänauhahiomakone, jossa on myös poikittaihionta. Hiontakoneiden jälkeen tulee puhdistin. Maalausautomaattina toimii 8-ruiskuinen traverssi, jossa käytetään Airmix-tekniikkaa. Maalausautomaatin ja lakkausautomaatin välissä on puhdistinkone, eli lakkauspuhdistin. Lakkausautomaattina toimii 8-ruiskuinen traverssi, jossa Airmix-tekniikka. Lakkauksen jälkeen tulee 25-kerroksinen kerroskuivaaja. Tämän jälkeen tulee jäähdytyskone, josta kappale kulkeutuu kääntäjään, jossa kappale käännetään ylösalaisin. Viimeisenä on kulma-asema, josta kappale aloittaa uuden kierroksen. Kappale kiertää linjan noin 4 kertaa, joten läpimenoaika on noin kolme tuntia.

4.3 Käsimaalauslinja

Yrityksen käsimaalauslinja on pysyvillä rakenteilla rajattu tila, jossa on ilmanvaihdon poistot kolmessa eri paikassa. Tämän linjan pintakäsittely on pääasiassa lakkausta ruiskupistoolilla. Käsimaalaus ei ole osa maalauslinjojen toimintaa, vaan toimii itsenäisesti. Käsimaalauksella korjataan pintavirheitä ja maalataan yksittäisiä osia. Käsimaalauspuolella on kolme vesiverhokaappia, joissa veden virtaus on jatkuvaa. Käsimaalaamon ruiskupistooleissa käytetään Airmix- ja korkeapaine-ruiskutusta.



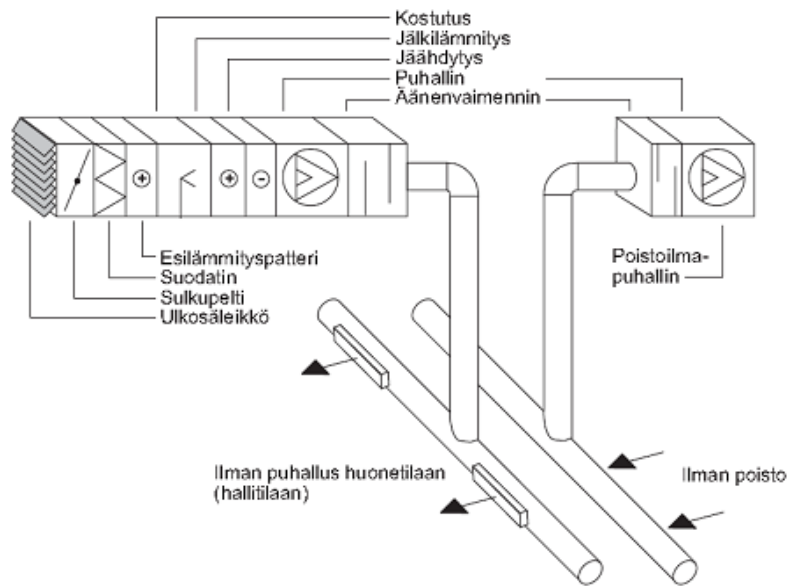
KUVIO 6. Pintakäsittelylinjasto

5 ILMANVAIHTOKONEISTON PERUSRAKENTEET

Ilmanvaihtokoneistot valitaan ilmastoitavan tilan tai prosessin vaatimuksen mukaisesti. Yksittäinen ilmastointikojeiston ilmanvaihdon alue vaihtelee 1-2 huoneesta jopa suuriin hallitiloihin koneiston koon mukaisesti. Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää laadukasta sisäilmaa tai jonkin prosessin vaatimia erityisolosuhteita. Tuloilmaa on pidettävä yleensä ulkoilmaa puhtaampana, joka aiheuttaa lisävaatimuksia ilmastointikoneistoille. Ilmanvaihtokoneiston puhtausluokituksella voidaan varmistaa ilmanvaihtojärjestelmän läpi virtaavan tuloilman hyvä laatu. Ilmastointikoneiden puhtausluokitukset on määritelty ilman laadun ja käyttösovelluksien mukaisesti. Ilmastointilaitoksen käytössä ensisijaisena päämääränä on kuitenkin huomioida hygieniatekijät ja sen jälkeen vasta energiansäästön toimenpiteet. Uutta ilmastointijärjestelmää suunniteltaessa tai vanhaa järjestelmää päivitettäessä on erittäin tärkeää, että muodostetaan kuva siitä, minkälaisia vaatimuksia järjestelmältä kokonaisuudessa vaaditaan. Tällaisia vaatimuksia voivat olla puhtaan ilman sisäänottoon, työskentely-ympäristön laadun kontrollointiin sekä haitallisten aineiden erotukseen liittyvät vaatimukset. (Harju 2008a, 59; Heikkilä, Huumo, Siltonen, Seitsalo & Hyytiä 2008, 70.)

Teollisuuden tuotantojärjestelmät ovat hyvin usein riippuvaisia tehokkaasta ilmanvaihtojärjestelmästä. Sen yleisimpänä tehtävänä on suojella henkilöstöä sekä tuotannon prosesseja ilmaan kerääntyviltä haitallisilta aineilta ja liialliselta kuumuudelta tai kylmyydeltä. Nykyisin ilmastoinnissa käytössä olevien LTO-laitteiden avulla saadaan energiaa säästettyä, ja näin ollen ulkoa otettavan tuloilman lämmityskustannukset talvikaudella alenevat. Ilmanvaihtokonehuone on suunniteltava perusteellisesti jo heti alkuvaiheessa, jotta välttyttäisiin myöhemmiltä korjausinvestoinneilta. Koneistojen ympärillä tulee olla tilaa huoltoa ja puhdistusta varten. Ilmanvaihtokonehuoneiden yhteydessä on varauduttava vesivuotoi-

hin ja lattian tulee olla vesieristetty. Ilmanvaihtokoneen perusosiin kuuluvat erilaiset sulku- ja säätöpellit, suodattimet, kostutuslaitteet, jäähdytys- ja lämmityslaitteet sekä äänenvaimentimet puhaltimiseen. Ilmastointikoneiston perusosat on havainnollistettu kuviossa 7. (Harju 2008a, 59; Heikkilä ym. 2008, 69.)



KUVIO 7. Ilmanvaihtokoneiston perusosat

5.1 Säleiköt ja säätöpellit

Harjun (2008, 64.) mukaan raikasta ilmaa sisään ottava ilmanottolaite ja käytettyä ilmaa poistava ulospuhallushajotin ovat usein ainoita ulos näkyviä merkkejä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilman sisäänotto on suoritettava alhaisella virtausnopeudella, jottei sadevesi, lumi eikä pieneläimet kulkeudu tuloilmavirran mukana ilmastointijärjestelmään. Ulkoilmasäleikkö tulee sijoittaa niin, että niiden kautta virtaava ilma olisi mahdollisimman puhdasta. Ulkoilma aukon tulee sijaita yli 2 metriä maanpinnasta, yli 9 metrin päästä rakennuksen tuuletusviemäreistä ja yli 3 metrin päässä samassa vaakatasossa olevista jäteilma-aukoista. Suojaetäi-

syyksien avulla torjutaan mahdollisten haitallisten hajujen ja epäpuhtauksien joutuminen tuloilmaan. (Harju 2008a, 64.)

Ulkoilmasäleikkö varustetaan yleisesti vedenerotuskouruilla, jotka toimivat pisanerottimen toimintaperiaatteen mukaisesti. Ilman virtausnopeudeksi mitoitetaan yleensä alle 2 m/s. Ulkoilma-aukot varustetaan myös tiheillä suojaverkoilla pieneläinten sisäänpääsyn estämiseksi. Jos säleikön sijainnin ympärillä olosuhteet ovat erityisen vaativat, voidaan säleikkö varustaa sähkölämmityksellä jäätymisen estämiseksi sekä lumenerotuskyvyn parantamiseksi. On tärkeää, että kanavistoon ei kulkeudu vettä eikä lunta. Isoissa ilmanvaihtojärjestelmissä voidaan käyttää sisäänotettavan ilman tasauskammiota, jonka avulla varmistetaan tuloilman riittävän alhainen nopeus. Kaivolla varustetuissa kammioissa raskaimmat pisarat putoavat kammion pohjalle, joten ne eivät pääse kanavistoon eivätkä myöskään suodattimeen. Jäteilma-aukot sijoitetaan yleensä rakennuksen vesikatoille, josta mahdollinen likainen jäteilma ei kulkeudu tuloilmaan. Sijoituksessa on otettava huomioon myös tuulten vaikutus ulospuhallukseen, jota voidaan pienentää esimerkiksi suuren ulospuhallusnopeuden avulla. Lisäksi kostean jäteilman ulospuhalluksessa on huomioitava kosteuden mahdollinen haitallinen tiivistyminen rakenteisiin. (Harju 2008a, 64.)

Säätöpellit ja sulkupellit ovat välttämätön osa ilmastointikoneistoa. Ulkopeltejä voidaan käyttää tuloilmojen sekä poistoilmojen määrrien säätämiseen. Erilaisten kiertoilmapeltien avulla voidaan poistoilmaa sekoittaa tuloilmaan tai jakaa ilma-virtauksia eri lohkoihin. Säätöpellit voivat toimia joko asteittain tai ainoastaan auki-kiinni-asennoissa. Säätöpeltien toiminta tulee tarkastaa ja huoltaa määräajoin, jotta laitteiston toiminta on optimaalista. Säätö- ja sulkupeltejä liikuttelevat peltimoottorit voivat olla joko sähkö- tai käsikäyttöisiä. Peltien toimintaa voidaan myös säädellä erilaisten mittausantureiden mittaamien tietojen avulla. (Harju 2008a, 64–65.)

5.2 Suodattimien käyttötarkoitus

Luonnon ilmastoon tuottamat epäpuhtaudet ovat peräisin tulivuorista, maanjäristyksistä sekä sääilmiöiden aiheuttamista eroosiosta sekä muista ilmiöistä. Myös ihmiset ovat aiheuttaneet ilmaston epäpuhtauksien lisääntymisen esimerkiksi polttomoottoreiden pakokaasujen ja kemian teollisuuden prosessien kautta. Ilmassa onkin useita epäterveellisiä leijujia, joiden on parempi jäädä suodattimeen kuin aiheuttaa haittoja ilmastoinnissa. Ilman sisältämät epäpuhtaudet ovat pääasiassa pölyä, savua, hiukkasia, huuruja, bakteereja, sumua sekä suurkaupunkien yllä leijuvia saastesavuja. Kaasumaisia epäpuhtauksia ovat hiilidioksidi, tupakansavu, radon, otsoni, typpioksidi, häkä sekä formaldehydi. (Harju 2008a, 65)

Ilmansuodattimien käyttö ilmastointijärjestelmässä tutkitaan aina tapauskohtaisesti. Ilmansuodattimien suoritusarvoille on annettu erilaisia määritelmiä suodatettavan ilman vaatimusten mukaisesti. Ilmansuodattimien suoritusarvoista voidaan mitata alkupainehäviöt, pölynsitomiskyky, erotusaste, suodatinluokka sekä suodatinmateriaalin mahdollisen sähköisen varauksen vaikutukset erotusasteseen. Jos käytettävä suodatin on sähkösuodatin, pitää valmistajan ilmoittaa lisäksi suodattimen otsonituotto. Lisäksi suodattimissa ei saa olla pölyn sitomiseen käytettäviä öljyjä tai biosideja, jotta ne eivät kulkeudu suodatettavan ilman mukana sisätiloihin. Suodattimien asennuspaikaksi voidaan valita ulko-, poisto-, kierto-, kierrätys- tai tuloilmavirran kanavat. (Harju 2008a, 65–66.)

Ulkoilman suodatus on tarpeellista, koska ulkoilma sisältää haitallisia epäpuhtauksia. Kiertoilman suodatus on tarpeen huoneesta poistuvan pölyn, bakteerien sekä mikrobien erottamiseksi. Suodatin täytyy olla kiinteärakenteinen, eikä siitä saa irrota haitallisessa määrin kuituja missään olosuhteissa. Suodattimen vaihtotarpeen ilmoittaa aina valmistaja ja käytetyt suodattimet tulee hävittää ympäristöstävällisesti. Likaisen suodattimen epäpuhtaus ei saa päästä leviämään kana-

vistoon tai huonetilaan virtaavan ilman mukana. Järjestelmään levinneet epäpuhtaudet aiheuttavat aina suurempia haittavaikutuksia koko järjestelmän puhtaudelle ja voivat näin aiheuttaa kalliin puhdistustyöprosessin. (Harju 2008a, 65–66.)

5.3 Suodatintyypit

Ilmastoinnissa käytettävään suodatukseen voidaan käyttää kolmea erilaista suodatusmenetelmää käyttötarpeen mukaisesti. Mekaaninen suodatin on yleisin suodatintyyppi sen helppojen käyttöominaisuuksien vuoksi. Suodattimen läpi virtaavassa ilmassa olevat roskat jäävät suodattimeen eivätkä kulkeudu kauemmaksi sisäilmaan. Mekaanisessa suodattimessa oleva suodatinmatto vaihdetaan, kun se on likaantunut tarpeeksi. Sähkösuodattimen toiminta perustuu taas pienille hiukkasille annettavaan sähkövarausvaikutukseen, jossa varautuneet pölyhiukkaset tarttuvat suodattimen keräyspintaan. Sähköisesti varatut pölyhiukkaset kerätään vastakkaismerkkisen varauksen omaaville keräyslevyille, josta ne voidaan poistaa. Sähkösuodattimessa käytetään varausjännitteenä usean kilovoltin jännitettä. Tämän vuoksi laitteen toiminnassa muodostuu otsonia, jolle on asetettu rajoituksia sisäilman laadun vaatimuksissa. (Harju 2008a, 67–68.)

Suurten hiukkasten sähkösuodattimelle aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä esisuodatuksella, joka yleensä toteutetaan karkeasuodattimella. Sähkösuodattimeen ei saa joutua vesipisaroita eikä virtaavan ilman nopeus saa ylittää noin 2,5 m/s nopeutta. Edellä mainittujen suodatintyyppien lisäksi on kehitetty myös uusia erityistarpeisiin soveltuvia suodatustapoja. Näiden erikoismenetelmien avulla on ilmasta saatu poistettua jopa nanoluokan hiukkaset. (Harju 2008a, 67–68.)

5.4 Tuloilman esi- tai jälkilämmityspatteri

Kylmää tuloilmaa lämmitetään lämmityspattereilla prosessissa halutun optimaalisen lämpötilan saavuttamiseksi tai huoneiston vedontunteen eliminoimiseksi. Virtaavan ilman lämpötila muuttuu patteriveden lämpötilaa säätämällä. Patterin lämmönluovutukseen vaikuttavat sen pinta-ala, meno- ja paluuveden lämpötilaerot sekä sille tulevan ja siitä lähtevän ilman lämpötilaerot. Lisäksi patterin tehoon vaikuttavat virtaavan ilman nopeus, putkistoveden virtausnopeus sekä patterin kytkentätapa. Kytchentätapana voidaan käyttää vasta-, risti-, tai myötävirtakytkentää tilanteen ja koneiston mukaisesti. Patterin veden virtausnopeus vaihtelee putkimateriaalin mukaisesti 0,4-3,0 m/s. Lämmönluovutuksen parantamiseksi liuospatteerien virtausnopeus mitoitetaan turbulenttiseksi, ei laminaariseksi. (Harju 2008a, 82–83.)

Ilman lämmityspattereissa on myös ilmausmahdollisuus, jotta patterin toiminta saadaan tehostettua. Patteerien putkikytkennät tehdään yleensä niin, että vesi virtaa patterissa alhaalta ylöspäin. Tämän avulla tehostetaan ilman poistumista patterista. Lisäksi esilämmityspatterit tulee suojata jäätymiseltä asentamalla niihin jäätymissuojatermostaatit, joiden yhteydessä olevat anturit mittaavat kylmintä paluuveden lämpötilaa. Patteriveden kierrätykseen käytettävän kierrätyspumpun on oltava jatkuvasti käynnissä virtauksen jatkuvuuden takaamiseksi, jotta mahdollinen jäätyminen voidaan estää. Ilmastointikoneistoissa tuloilmalle saavutetaan parhaat mahdolliset lämpötilaolosuhteet käyttämällä ilman esilämmityspatteria sekä jälkilämmityspatteria yhtäaikaaisesti. Koska patteristoissa voi ilmetä ongelmia sekä rikkoutumisia jäätymisen tai muun epäsuotuisan tapahtuman vuoksi, suunnitellaan jäähdytyspatterit yleensä irrotettaviksi huolto- ja korjaustoimenpiteiden helpottamiseksi. (Harju 2008a, 82–83.)

5.5 Kostutuslaitteisto

Kostutinlaitteiston tarpeellisuus perustuu yleensä teknisiin tai terveydellisiin vaatimuksiin. Huoneiston liian kuiva ilma voi altistaa hengitysteiden sairauksille ja aiheuttaa epämieluisuuden tuntua. Liian kostea ilma taas lisää puolestaan sienten ja mikrobien kasvumahdollisuuksia aiheuttaen pahimmassa tapauksessa kiinteistöihin homeongelmia. Huoneilman laatuvaatimusten sekä teollisuuden erilaisten prosessien vaatimusten vuoksi, voidaan kosteutta lisätä ilmanvaihtokoneistoissa suihkuttamalla vesisumua tuloilmaan tai höyrystämällä vettä sähkön avulla. (Harju 2008a, 85–86.)

Höyrykostutin on hygieenisempänä vaihtoehtona parempi huoneilman kostuttamiseen, koska kostutinvesi tulee yleensä suoraan vesijohtoverkosta. Sumutinkostutin on taas enemmän teollisuuden käytössä oleva kostutinlaitteisto, koska ilmastointikoneistojen ilmavirtaukset ovat yleensä suuria. Koska sumutuskostutuksessa vesi sitoo ympäröivästä ilmasta lämpöä, on kostutettu ilma yleensä lämmitettävä jälkilämmityspatterilla haluttuun lämpötilaan. Kostutuksen käyttö ei ole yleensä hygieniasyistä suositeltavaa eikä sitä tulisi käyttää ilman pakottaa syytä. Kuitenkin teollisuuden vaativien erityisprosessien vuoksi voidaan ilmaa joutua kostuttamaan erillisellä laitteistoilla ilmastointikoneiston yhteydessä. Kostutus voi tulla kyseeseen erityisesti puuteollisuuden pintakäsittelyprosessien yhteydessä. Kostuttimen materiaalien on oltava kestoisuudeltaan ruostumatonta sekä mikro-organismien kasvumahdollisuuksia estävää materiaalia. (Harju 2008a, 85–86.)

5.6 Puhaltimet ja äänenvaimentimet

Ilmastointikoneiston puhaltimien avulla saadaan ilma kulkeutumaan oikeisiin kanavistoihin ja sitä kautta oikeisiin käyttökohteisiin. Puhaltimella paineistettu ilma virtaa helposti käyttökohteisiin. Puhaltimen kehittämä kokonaispaine voidaan ilmoittaa kokonaispaineena, staattisena paineena tai dynaamisena paineena. Puhaltimen ominaisuudet määrää yleensä puhaltimen siipipyörä. Ilman tilavuusvirran tuotto määräytyy yleensä puhaltimen koon ja pyörimisnopeuden mukaisesti. Ilmastointikoneiston suunnittelussa puhaltimien valintaan vaikuttavat pääasiassa järjestelmän tilavuusvirta, paine-erot, hyötysuhde, äänet sekä tilantarve. Yleisimmät puhaltimet jaetaan toimintatavan ja siipipyörän muodon mukaan kolmeen eri tyyppiin, joita ovat keskipakoispuhaltimet, aksiaalipuhaltimet ja sekavirtauspuhaltimet. Ne voidaan myös jakaa kolmeen eri ryhmään tuottamansa paineen suuruuden perusteella. Ryhmien paine-erot voivat vaihdella välillä 720–3600 Pa. (Harju 2008a, 91–95.)

Keskipakopuhaltimissa ilma virtaa akselin suuntaisesti keskelle puhaltimen siipipyörää. Ilma poistuu siipipyörästä radiaalisesti säteen suuntaisesti. Siipipyörä aiheuttaa ilman nopeuden muutoksesta johtuvan staattisen paineen nousun putkessa. Keskipakoispuhaltimessa siipipyörän siivet voivat kaartua eteenpäin tai taaksepäin mutta taaksepäin kaartuvilla siivillä saavutetaan yleensä edullisempi energiankulutus. Keskipakoispuhaltimet ovat usein hihnavetoisia ja ne vaativat vuosittaisien huoltotoimenpiteiden suorittamisen. Puhaltimien pyörimisnopeutta voidaan säädellä taajuusmuuttajaohjauksella, ja näin halutut ilmavirrat saadaan säilytettyä vakaina koko puhalluksen aikana. (Harju 2008a, 91–95.)

Aksiaalipuhaltimissa ilma virtaa puhaltimien akselin suuntaisesti. Ilmavirtaus on siipipyörän jälkeen pyörivässä liikkeessä, joka voidaan oikaista esimerkiksi puhaltimen jälkeen asennettavalla ohjaussiivistöllä. Virtaavaa ilmamäärää voidaan

muuttaa säätämällä moottorin pyörimisnopeutta tai puhaltimissa voidaan myös käyttää säädettäviä siipiä. Siivet voivat olla joko puhaltimen käynnin aikana jatkuvasti säätyviä tai ainoastaan puhaltimen pysähdyksen aikana säädettäviä. Sekavirtauspuhallin on aksiaali- ja radiaalipuhaltimen yhdistelmämuoto, jossa on yhdistetty näiden molempien puhaltimien parhaat ominaisuudet ja tekniikat. Sekavirtauspuhaltimen siipipyörä käyttää ilman siirtämiseen potkurin työntövoimaa sekä keskipakoisvoimaa. Sekavirtavirtauspuhallin on myös hihnakäyttöinen ja vaatii vuosittaisen huoltonsa. Puhaltimen tehoa voidaan säätää johtosiipisäätimellä tai siipipyörän kierroslukua muuttamalla. Ilmastointikoneistossa voidaan käyttää myös potkuripuhaltimia. Ne sopivat kohteisiin, joissa ei tarvita suurta painetta. Tällöin puhaltimet ovat yleensä suoraan reiässä ulkoseinässä. Potkuripuhaltimien käyttö onkin yleistä vain varastoissa, maatalouden erilaisissa kuivaamoissa sekä autotalleissa. (Harju 2008a, 91–95.)

Ilmastointikoneiston tuottamaan melua pyritään estämään äänenvaimentimien sekä oikeanlaisen asennustekniikan avulla. Ilmastoitavan tilan äänitason muodotukseen vaikuttavat puhaltimien aiheuttamat äänet, tulo- ja poistoilmavirtojen nopeudet, kanavaäänet, päätelaitteiden aiheuttamat äänet, huoneen vaimennus sekä asennustavat. Kanavaan asennettavien äänenvaimentimien tehtävänä on estää melun kulkeutuminen huonetiloihin. Äänenvaimennin koostuu yleensä ulkokuoresta ja sisäkuoresta, jossa on reikiä. Ulkokuoren ja sisäkuoren välissä on palamaton vaimennusmateriaali, josta ei saa irrota kuituja huonetilaan. Vaimennusmateriaalin on kestävä mekaaninen puhdistus. Äänenvaimentimien on oltava yhtä tiiviitä kuin kanavistot sekä ilmastointikone, jotta haitallisia vuotoilmavirtoja ei pääse syntymään. Äänenvaimentimien tyypillisimmät asennuspaikat sijaitsevat yleensä ilmanvaihtokoneen läheisyydessä tulo- ja poistoilmakanavissa tai tarpeen vaatiessa kanavan loppupäässä. (Harju 2008a, 102.)

6 ILMASTOINNIN MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA

6.1 Mittausten olosuhteet ja tarkoitus

Rakennusten ja laitosten vastaanotto- ja takuutarkastuksissa todetaan yksiköiden suunnitelmien mukaisuus ja toimivuus tekemällä niille laitteistokohtaisia mittauksia ja analyysyjä. Laitosten järjestelmien pitää täyttää niille asetetut laatu- ja viranomaismääräykset. Käytönaikaiset mittaukset liittyvät yleensä huoltoon ja laitoksen yleisen toiminnan seurantaan. Käytönaikaisella kuntotutkimuksella voidaan selvittää rakennuksen ilmastointilaitteiston kunto, korjaustarve, kehitysmahdollisuudet ja toiminnallisuus. Mittauksen suunnittelussa on olennaista pääpiirteittäinen tavoitteiden asettelu ja se, mitä mittauksilla halutaan saada selvitettyä. (Harju 2008b, 124.)

Mittaushetkellä ilmanvaihtojärjestelmän, prosessien ja rakennusten on oltava riittävän valmiita tehtäville mittauksille. Mittausten on aina oltava toistettavissa, eikä niitä myöskään tulisi suorittaa, jos alueella vallitsevat poikkeukselliset sääolosuhteet. Sääolosuhteet lasketaan poikkeuksellisiksi silloin kun rakennuksen ympäristössä tuulen nopeus ylittää 10 m/s tai ulkolämpötila alittaa paikkakunnan mitoitustilalämpötilan. Mittalaitteet valitaan yleensä sen jälkeen, kun on selvitetty mittauksen syy, tarkkuus, tavoitteet sekä dokumentointi. Mittauksissa tulee myös käyttää kalibroituja mittareita valmistajan mittausohjeiden mukaisesti. (Harju 2008b, 124.)

Ilmastointilaitoksen tehtävänä on pitää yllä tavoitteiden ja suunnitelmien mukaisia lämpöoloja. Ilmastointikoneiston toimivuuden todentamisen yhteydessä mitataan ilman lämpötilaa, kosteutta, virtausnopeuksia, laitoksen painesuhteita sekä tarvittaessa laitteiston tehonkulutuksia. Ilmastointilaitosten suunnittelussa kuuluu

ottaa myös huomioon mahdolliset myöhemmin tehtävät mittaukset. Ilmastointilaitoksissa ja prosesseissa esiintyy usein suuria eri olosuhteiden ajallisia ja paikallisia muutoksia, sekä monia muitakin mittausepävarmuutta lisääviä tekijöitä. Mittausten suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpötilan kerrostuminen, joka on suurimmillaan lämmittimien, jäähdyttimien, lämmöntalteenottolaitteistojen sekä sekoitusosien jälkeen. Lämpötilan mittaus edellyttää tällöin useasti myös lämpötilamittarin säteilysuojausta. Lisäksi lämpötilan mittauksissa tulee välttää mittauksia sellaisessa ilmassa, missä voi esiintyä vettä pisaroina tai sumuna olevaa kosteutta. Käytettävien komponenttien ja laitteiden suorituskyykyyn vaikuttavat suureet mitataan yleensä samanaikaisesti. Ilmastointilaitoksissa tehdään olosuhdemittaukset joko kiinteiden tai siirrettävien mittalaitteiden avulla. Käytössä olevassa rakennuksessa varmistutaan kiinteiden mittauslaitteiden luotettavuudesta esimerkiksi kalibroidulla mittarilla tehtävien vertailumittausten avulla. (SFS-EN 5511-5512, 1989.)

6.2 Mittauspöytäkirjan laadinta

Mittauspöytäkirjassa tulee esittää mittauskohteesta ulkolämpötila, ilmanpaine, sekä tuulen suunta ja nopeus. Jos säätekijöitä ei voida mitata tarkastelupaikan ympäristössä, voidaan siinä tapauksessa käyttää lähimmältä säähavaintoasemalta saatavia tietoja hyväksi. Mittauspöytäkirjassa täytyy ilmoittaa mittausajankohta, mittauspaikat, mittaajat, mittauksen valvojat, käytetyt mittausmenetelmät ja laitteet. Lisäksi tulee myös antaa selvitys mittalaitteiden kalibroinnista valmistajakohdaisesti. Mittausarvoista tulee ilmoittaa mitattavan ilmavirran lämpötila, tarvittaessa sen kosteus, ilmavirran suuruus, selvitys mittaukseen vaikuttavista häiriötekijöistä sekä varsinaiset mittaustulokset. Mittaustulokset tulee esittää suoraan mittarista luettuna sekä lopullisena dokumenttina. (Harju 2008b, 124; SFS 5511-5512, 1989.)

6.3 Mittauslaitteiston kalibroiminen ja mittausvirheet

Mittauksissa käytettävien mittalaitteiden on oltava tyyppihyväksyttyjä tai kalibroituja standardien vaatimuksien mukaisesti. Laitteen käyttöohjeista on selvittävä laitteen käyttöä koskevat rajoitukset valmistajan mukaisesti sekä mittauksen epäluotettavuuden arviointiperusteet. Mittauslaitteen kalibroinnin avulla voidaan eliminoida mittauslaitteen virheitä. Mittalaite on ajoittain kalibroitava, ja sen voi teettää esimerkiksi laitteen maahantuojalla. Kalibroinnin avulla varmistetaan mittauslaitteen näytön oikeellisuus. Virallisia kalibrointitodistuksia Suomessa voivat antaa mittateknikankeskus sekä sen päteväksi toteamat kalibrointilaboratoriot. Kalibroinniksi voidaan sanoa myös itse mittalaitteen käyttökohteessa tapahtuvaa nollausta. Mittauslaitteesta on oltava kalibroinnin lisäksi selvillä standardien mukaiset tiedot, joiden avulla mittaus voitaisiin suorittaa oikealla tavalla sekä varmistettaisiin mittaustulosten oikeellisuus (KUVIO 8). (SFS 5511-5512, 1989.)

- Mittarin tyyppi, toimintaperiaate, valmistustiedot, aikavakiot

- Toiminta-alueet, käytönrajoitukset

- Ohjeet mittauksen suorittamisesta, virhearviointien ja mittaustulosten käsittelystä

- Tarkkuus

- Tarvittava kalibrointitiheys ja siihen käytettävät menetelmät

- Todistus viimeisimmästä kalibroinnista



- Käyttö- ja huolto-ohjeet

- Ohjeet mittauskuntoon saattamisesta ja sen yhteydessä tehtävät tarkastukset

- Ohjeet anturin ja mittalaitteen yhteiskäytöstä

- Ohjeet pikakalibroinnista, koskien kaikkia elektronisia mittalaitteita

KUVIO 8. Mittauslaitteesta esitettävät tiedot (SFS-EN 5511, 1989.)

Myös mittalaitteen anturin likaantuminen ja vääränlaiset mittaustavat voivat aiheuttaa virheitä mittaustuloksiin. Mittarin käytön yhteydessä voi lisäksi tapahtua lukemavirheitä, jotka pyritään havaitsemaan jo mittaustapahtuman yhteydessä. Mittauksien kokonaisvirheet koostuvat mittareista, mittaustavoista ja lukemavirheistä. Suositeltavina mittaustarkkuuksina voidaan pitää taulukossa 1 kerrottuja arvoja. (Harju 2008b, 125; SFS 5511-5512, 1989.)

TAULUKKO 1. Yleiset mittaustarkkuudet (Harju 2008b, 124.)

Mittausarvo	Tarkkuus
ilman lämpötila	$\pm 0,7^{\circ}\text{C}$
operatiivinen lämpötila	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
pintalämpötila	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
ilman kosteus	$\pm 5\%$
ilman nopeus	$\pm 10\%$

6.4 Lämpötilan ja kosteuden mitta

Lämpötilan mitta

Koska useat suureet kuten paine, tilavuus, sähkönjohtavuus, laajenemiskertoimet ja muut mitta

kautta, voivat ne muuttua lämpötilan mukaisesti. Ilman lämpötilan mittaukseen soveltuvat kuitenkin yleisesti samantyyppiset mittausturvit kuin huoneilman lämpötilojen mittaamiseen. Mitattaessa laitoksen suoritusarvoja ja ominaisuuksia, saa mittarin lukemaväli olla enintään 0,2 °C. Laitoksen toimintatarkkailuun käytettävien kiinteiden mittareiden lukemaväliksi sallitaan suurempikin arvo mutta maksimi ohjearvoksi on asetettu 1,0 °C. Tällöin mittarit eivät sovellu erityisiin tarkkuusmittauksiin. (SFS-EN 5511–5512, 1989.)

Lämpötilan mittaaminen voi perustua mittarissa paineeseen, lämpölaajenemiseen, sähköön vastukseen, sähköön resistanssiin tai säteilyyn. Lämpötilaa voidaan mitata ja tutkia nestepatsaslämpömittarilla, bi-metallilämpömittarilla, kapillaarilämpömittarilla, vastuslämpömittarilla, termoparilämpömittarilla, säteilylämpömittarilla ja lämpökameralla. Lämpötilanmittauksessa tulee huomioida mittaukseen vaikuttavat ulkoiset tekijät sekä mittarin toiminnalliset ominaisuudet. Ilman lämpötilan mittaukset tehdään aina tapauskohtaisesti. Mikäli ilman lämpötila on tasainen, kuten esimerkiksi puhaltimen jälkeen, riittää mittauspisteeksi yksi piste, josta lämpötila voidaan mitata. (Harju 2006; 2008b, 125.)

Kerrostuneessa ilmassa, jossa ilman virtausnopeus on epätasainen, mitataan samanaikaisesti lämpötila sekä nopeus. Keskimääräinen lämpötila voidaan laskea eri mittauspisteistä mitattujen lämpötilojen virtausnopeuksilla painotettuna keskiarvona kaavan (1) mukaisesti. Mittauspisteiden valinta tehdään tapauskohtaisesti ja mittaus voidaan aloittaa yleensä 5-pisteen menetelmällä. Jos korkeimman ja alimman mitatun lämpötilan välinen erotus on alle 10 % suurimmasta lämpötilaerosta mitattavan laitteen eri puolilta, ei lisäpisteitä tarvita. Jos erotus kasvaa 10–20 %, mitataan viiden pisteen lisäksi neljästä muusta pisteestä arvot. Mikäli erotus on vieläkin suurempi, tulee mittauspisteitä lisätä 5-10 kappaletta. (SFS-EN 5511–5512, 1989.)

$$T_m = (T_1 v_1 + T_2 v_2 + \dots T_n v_n) / (v_1 + v_2 + \dots v_n) \quad (1)$$

jossa $T_1, T_2, \dots T_n$ ovat eri pisteistä mitatut paikalliset lämpötilat
 $v_1, v_2, \dots v_n$ ovat samoista pisteistä (1...n) mitatut ilman virtausnopeudet

Lämpötilan mittaamisen yhteydessä mitataan yleensä myös kosteus. Ilman kosteus riippuu ilman sisäilman vesihöyryn määrästä. Ilmakosteus voidaan ilmoittaa suhteellisena kosteutena, esimerkiksi 40 %. Ilmassa voi vain harvoin vallita maksimikosteus, kosteus, joka siinä voi enimmillään olla. Tällöin ilmaa kutsutaan vesihöyryn kyllästämäksi. Mittausten yhteydessä ilmaistaan yleisesti todellinen kosteus absoluuttisena kosteutena. Kosteuden mittaamiseen on käytössä erityyppisiä mittareita. Kosteusarvojen mittaukset voidaan suorittaa samantapaisesti kuin lämpötilanmittaukset ja niihin voidaan käyttää yleisimmin märkälämpötilan mittaukseen soveltuvia psykrometrejä tai erillisiä kuiva- ja märkälämpötilan mittaustantureita. Yleisimmin kosteusmittaukset tehdään kuitenkin psykrometrillä tai kapasitiivisella anturilla varustetulla mittarilla. (Harju 2006; 2008b, 126; SFS 5511-5512, 1989.)

6.5 Ilman tilavuusvirtojen mittaus

Ilman tilavuusvirtojen mittauksilla voidaan selvittää tulo- ja poistoilmavirtojen suuruuksia. Mittausten avulla voidaan selvittää ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien mukaisuus ja toimintaan liittyviä arvoja. Tilavuusvirtojen mittauksiin käytetään mittaustilanteeseen ja kohteeseen sopivaa mittaria. Ilman tilavuusvirta voidaan yleisimmin mitata kahdella eri tavalla. Tilavuusvirta voidaan mitata mittaamalla virtausta kuristavan laitteen aiheuttamaa paine-eroa tai virtaavan ilman nopeutta. Virtausmittaus voidaan suorittaa ilmastointikanavasta patopaineeseen pe-

rustuvalla pitot-putkella, virtaavan ilman jäähdytysvaikutukseen perustuvalla kuumalanka-anemometrillä sekä siipipyörianemometrillä, jossa mitta-anturissa on käytetty virtaavan ilman vaikutuksesta pyörivää siipipyörää. (Harju 2008b, 126–130.)

6.5.1 Kuristusmittarit

Tilavuusvirran määrittämiseen voidaan käyttää kuristusmittaria. Mittarissa virtauksen poikkipinta-ala pienenee, josta seurauksena ovat virtausnopeuden kasvu ja paine-eron muutos. Esimerkiksi laippa on standardisoitu kuristusmittari, jonka virtausvastus ja sitä kautta ilmamäärä pystytään melko tarkasti määrittämään. Mitattu paine-ero muutetaan tilavuusvirraksi joko laitteen kalibrointikäyrän avulla tai laskennallisesti matemaattisten kaavojen avulla. Ei-standardisoitujen mittauslaitteiden epätarkkuus on yleensä aina suurempi, noin 10–15 % luokkaa. (Harju 2008b.)

6.5.2 Siipipyörianemometrit

Ilmavirran mittaamisessa voidaan käyttää siipipyörianemometriä (KUVIO 9). Laitteessa on ilmavirran mukana pyörivä siipipyörä, jonka pyörimisnopeus on lähes suoraan verrannollinen ilman virtausnopeuteen. Kun siivekkeen kärki ohittaa anturin, välittyy elektroniselle laskurille pulssi ja sitä kautta tieto pyörimislanteesta. Roottoriin liitetyn laskurin tehtävänä on mitata mittarin läpi kulkeneen ilmapatsaan pituus eli kokonaismatka. Kun mittausaika on selvillä, voidaan ilman virtausnopeus laskea. Mittaus kuvaa keskinopeutta siipipyörän peittävällä alueella. Tämä keskinopeusmenetelmä sopii parhaiten suorakaiteenmuotoisille kanaville mutta sitä voidaan käyttää myös pyöreissä kanavissa. Tilavuusvirran mittauksissa

mitattavan päätelaitteen otsapinta jaetaan vähintään kuuteen yhtä suureen osaan, joidenka keskeltä suoritetaan ilman nopeuden mittaukset. Kun mittauspisteitä on vähintään 9, on menetelmän tarkkuus noin $\pm 10\%$. Vähemmällä mittauspisteillä on tarkkuus huonompi, noin $\pm 15\%$:in luokkaa. (Harju 2008b, 128.)



KUVIO 9. Siipipyöranemometri

6.5.3 Pussimenetelmät

Keräysmenetelmä on perinteinen, tarkka ja luotettava menetelmä ilmamäärän mittaamiseen. Tämä menetelmä tunnetaan myös nimeltä pussimenetelmä. Pussin kaulusosa, joka on yleensä valmistettu ohuesta muovista, asetetaan tuloilmaelimen ympärille. Pussin täyttymishetkeä seurataan pussin ylipainetta mittaavan manometrin lukemasta tai silmäämääräisesti, jolloin mittauksen tarkkuus yleensä huononee. Jotta tuloilmaelimen ilmavirta voidaan määrittää, pitää tuntea mittausaika sekä pussin kokonaistilavuus. Huppumittari on taas kevyt, yleensä yhden mittaajan ilmamäärämittari. Sillä voidaan mitata ilman nopeutta sekä lämpötilaa ja se myös pystyy laskemaan virtaavan kokonaisilmamäärän. Tämä mittaussmenetelmä soveltuu sekä tulo- ja poistoilmavirtojen mittaamiseen. Laitteen yleinen mit-

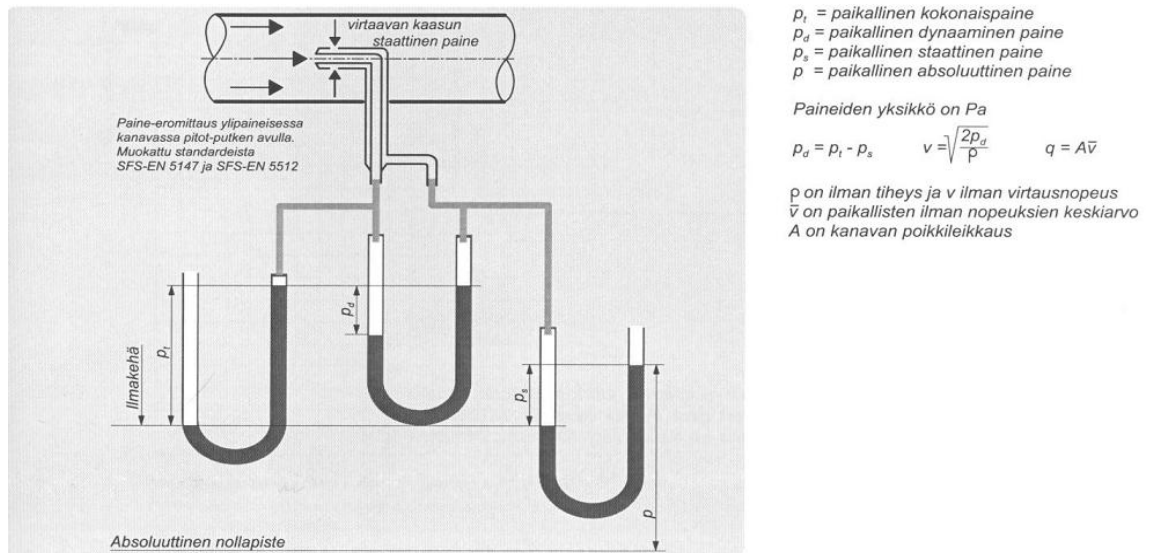
masuppiloita voidaan käyttää tuloilmaelimissä, joissa ei esiinny kovin voimakasta ilman suuntausta. Suppilomittausta suoritettaessa on varmistuttava siitä, että poistoilmasuppilo ja anemometritorvi ovat tiiviisti seinää vasten. Tällä tavoin varmistetaan kaiken kanavaan menevän ilman kulkeminen anemometritorven kautta. (Harju 2008b, 129.)

6.5.5 Pitot-putki

Pitot-putki on ilman nopeuden mittaamisen käytettävä epäsuora mittalaite, jota ei tarvitse kalibroida. Sillä voidaan mitata ilmastointikanavien kokonaispaine, staattinen paine ja dynaaminen paine. Ilmastointiputkessa virtaavan ilman nopeus voidaan laskea mitatun dynaamisen paineen avulla. Ilman dynaamisen paineen mittaaminen onnistuu, kun ilman nopeus on vähintään 3 m/s. Pienemmillä virtausnopeuksilla täytyy käyttää muita mittausten menetelmiä kuten kuimalanka-anturin avulla suoritettavaa mittausta. Pitot-putkella tehtävässä mittauksessa mitataan yleensä virtauksen kokonaispaineen ja staattisen paineen erotus.

Pitot-putki asennetaan kanavan sisälle virtaussuuntaa vastaan. Mittauspaikan kanavassa on virtauksen oltava laminaarinen sekä nopeusjakauman tasainen. Pitot-putkessa kokonaispaine johdetaan putkella manometrin toiseen haaraan ja staattinen paine toiseen haaraan. Kun pitot-putken mittauspää on kohtisuorassa kaasuvirtaa vasten, vaikuttaa virtaavan kaasun staattinen paine sivuaukkojen kautta ulkoputkeen. Ulkoputki on yhdistetty paine-eromittariin, joka mittaa virtaavan kaasun ja ilmakehän välistä staattista paine-eroa. Pitot-putken päässä olevaan reikään vaikuttavat sekä staattinen paine että putkessa virtaavan kaasun liike-energiaa vastaava dynaaminen paine. Mitattujen paineiden avulla saadaan määritettyä kokonaispaine. Kun sisäputken liitin yhdistetään paine-eromittariin, saa-

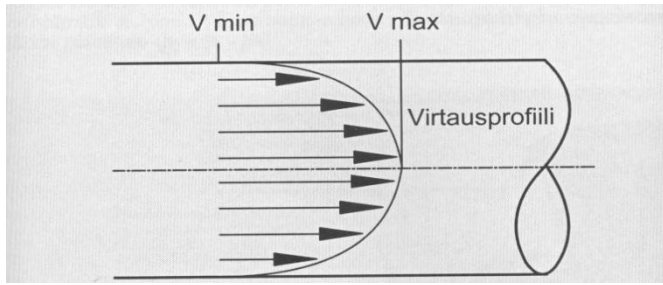
daan mitattua kokonaispaineen ja ilmakehän paineen välinen paine-ero. (Harju 2008b, 129)



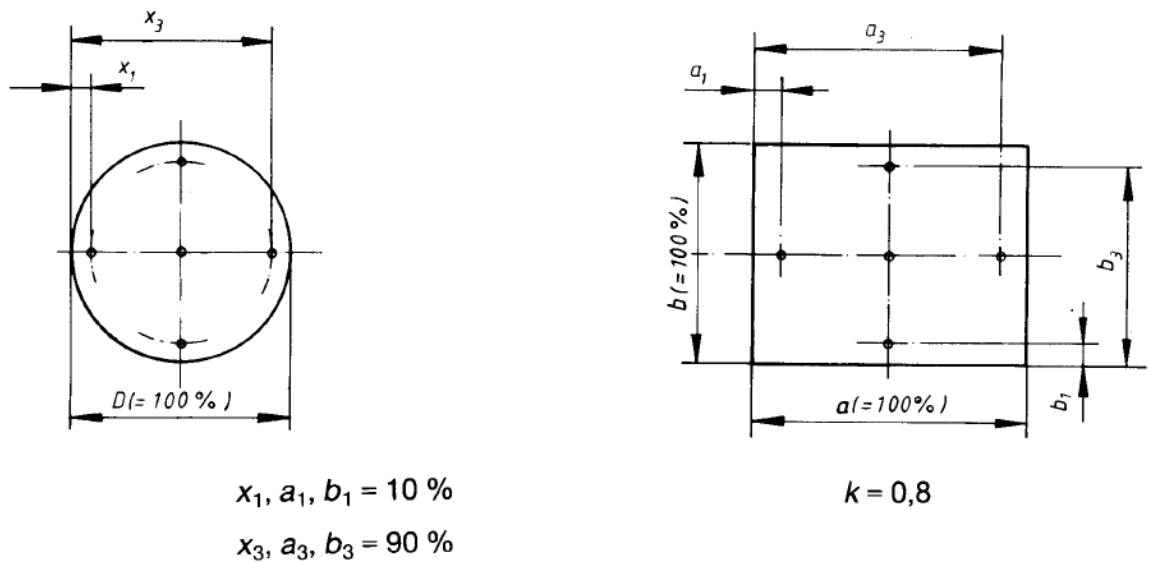
KUVIO 11. Pitot-putken mittausmenetelmä sekä paineiden määrittelyt (Harju 2008b, 129.)

6.5.6 Mittausmenetelmät

Tilavuusvirran mittauksissa on otettava huomioon virtauksen epätasainen jakautuminen putkessa. Virtauksen nopeuden vaihtelut ja virtausprofiilin muoto aiheuttavat aineen virran ja seinämän välisestä kitkasta (KUVIO 12). Ilman keskimääräisen nopeuden mittaamiseksi on yleensä käytetty usean mittauspisteen menetelmää. Viiden pisteen menetelmässä mittaukset suoritetaan kanavan viidessä eri pisteessä virtausnopeuden vaihtelun takia (KUVIO 13). Menetelmässä mitataan ilman virtausnopeus sekä määritetään kanavan pinta-ala.



KUVIO 12. Ilman virtausprofiili putkessa (Harju 2008, 127.)



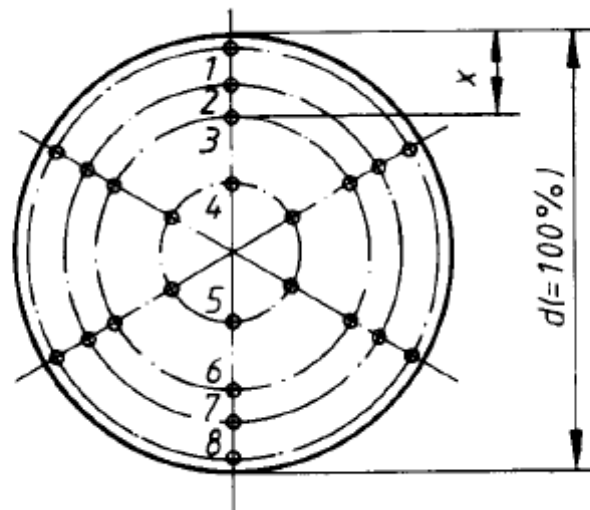
KUVIO 13. Viiden pisteen mittauskohdat (Harju 2008, 130; SFS 5511, 1989.)

Viiden pisteen menetelmää voidaan yleensä käyttää, kun putken halkaisija on noin 150–400 mm tai suorakaidekanavan sivumitat ovat noin 150–500 mm ja sivujen suhde on pienempi kuin 2. Virtaava ilmamäärä voidaan laskea viiden pisteen menetelmän avulla kaavalla (2).

$$\dot{V} = k \cdot A \cdot v \quad (2)$$

V = ilmamäärä (m^3/s)
 k = menetelmäkerroin
 A = pinta-ala (m^2)
 v = keskinopeus (m/s)

Menetelmäkerrointa k käytetään kanavan muodon takia. Pyöreälle putkelle ker-
toimeksi on määritetty 1 ja suorakaidekanavalle 0,96. Suorakaidemenetelmässä suo-
rakaidepoikkipintainen kanava on jaettu samansuuruisiin osiin ja mittauspisteet
on sijoitettu niiden keskelle. Menetelmää voidaan käyttää mittauksissa kun kana-
van sivujen pituudet ovat vähintään 100mm. Tällöin menetelmäkerroin k on myös
0,96. Myös log-linear menetelmällä voidaan korvata viiden pisteen rengasmene-
telmämittaus. Tässä menetelmässä renkaan yhdellä säteellä on aina kolme mitta-
uspistettä. Yleensä tässä mittauksessa päädytään käyttämään 12-pisteen mittaus-
menetelmää, joka sopii käytettäväksi kun putken halkaisija on yli 250 mm (KUVIO
14). Tällöin menetelmäkerroin k on 1. (Harju 2008b, 130–131; SFS 5511-5512, 1989.)



KUVIO 14. Log-linear menetelmä (Harju 2008, 131.)

6.5.7 Mittausten häiriötekijät ja suojaetäisyyskertoimen käyttäminen

Jos ilmamäärän mittaus suoritetaan kanavasta, täytyy siihen tehdä mittareille so-
piva aukko virtauksen tasaisuuden kannalta suotuisalle kohdalle. Mittaukseen voi
aiheuttaa häiriöitä puhaltimet, säätöpellit, patterit sekä muut kanavassa sijaitsevat

osat. Ilman tarkan nopeuden mittaamiseksi, on hyvä käyttää usean mittauspisteen menetelmää. Tämän lisäksi tulee käyttää mahdollisuuksien mukaan suojaetäisyyksiä häiriöitä aiheuttajiin tekijöihin, jotta suurilta mittausvirheiltä vältyttäisiin. Mittauksien tarkkuudet riippuvat mittalaitteiden lisäksi kanavamittauksien mittauspaikkaa edeltävän häiriökohdan ja mittauspaikan välisen suoran kanavaosan eli suojaetäisyyden pituudesta L . Suojaetäisyyttä on oltava riittävä kanavapituus mittauspisteen molemmilla puolilla. Häiriökohtana voi olla esimerkiksi käyrä, joka muuttaa virtausta turbulenttiseksi eli pyörteiseksi. Suorassa putkessa ja kanavassa virtaus on pääosin laminaarista eli pyörteetöntä, jolloin mittausolosuhteet ovat suotuisemmat. Suojaetäisyyskerroin saadaan pyöreälle kanavalle kaavalla (3) ja suorakaidekanavalle kaavalla (4). (Harju 2008b, 131; SFS 5512, 1989.)

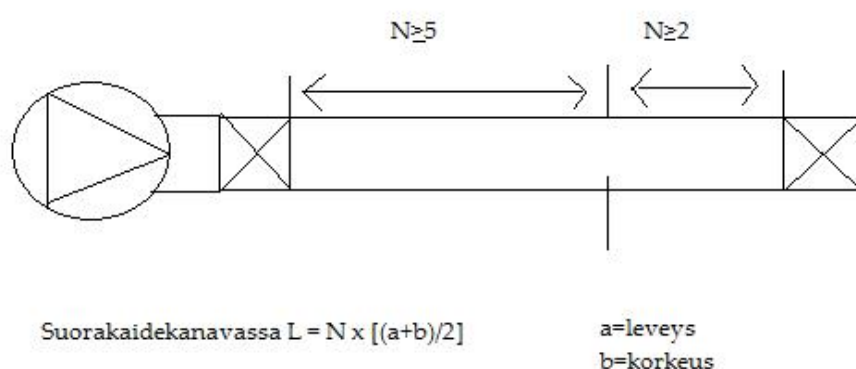
$$N = L / D \quad (3)$$

$$N = 2 \cdot L / (A + B) \quad (4)$$

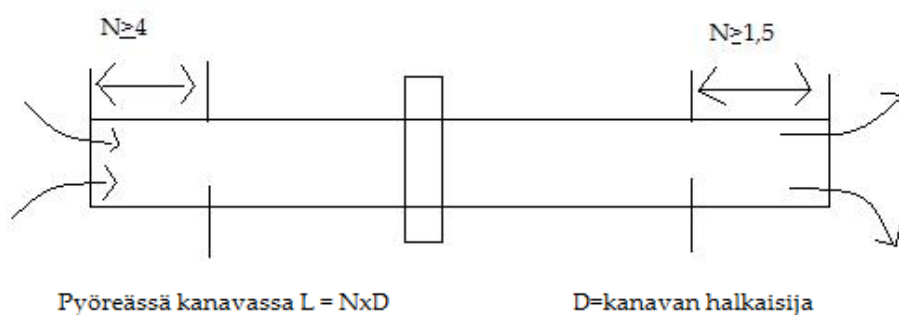
N	=	suojaetäisyyskerroin
L	=	suojaetäisyyden pituus
D	=	pyöreän kanavan halkaisija
A, B	=	suorakaidekanavan sivujen pituudet

Suojaetäisyyskerrointa N käytetään virtauskenttää suuresti muuttavien osien ja laitteiden vaikutusalueella. Tällaisia virtauskenttää muuttavia tekijöitä ovat puhallimet, säätöpellit, kulmat, käyrät, haarat ja poikkipinnan muutokset. Lievemmillä haittaavilla tekijöillä voidaan suojaetäisyyskerroimen arvoa lisätä viidellä. Tällaisia lievempiä tekijöitä ovat lamelli- tai ripaputkipatterit sekä pienemmät suodatimet. Jos taas häiriölähteitä on useita peräkkäin, tekijöistä määräävin on se, joka johtaa pienimpään suojaetäisyyskerroimeen. Suositeltava suojaetäisyyskerroin on mittauskohdassa suurempi kuin 6, mutta sen ehdollinen alue on 2,5-6. Mikäli kuitenkin suojaetäisyyskerroin on suurempi kuin 6, voidaan käyttää mitä tahansa

edellä mainittua mittausmenetelmää. Tarvittavat suojaetäisyydet metreinä lasketaan mittauskohdan ja häiriökohdan välille. Mittauskohdan pienin hyväksytty suojausetäisyyskerroin häiriölähteestä suorassa kanavassa on määritelty kuviossa 15 sekä pienin hyväksytty sisäänvirtausaukon ja ulosvirtausaukon suojausetäisyyskerroin häiriölähteestä on esitetty kuviossa 16. Suojaetäisyyskertoimen avulla voidaan määritellä menetelmävirheprosentti sille tehdystä erityisestä virhekäyrästä. (Harju 2008b, 131.)



KUVIO 15. Suoran kanavan suojausetäisyyskertoimien määrittely



KUVIO 16. Sisäänvirtausaukon ja ulosvirtausaukon suojaetäisyyskertoimien määrittelyt

6.5.8 Mittausepävarmuuden määrittäminen

Mittausepävarmuus on mittaustuloksiin liittyvä parametri, joka kuvaa mittaus-
suureen arvojen oletettua vaihtelua. Kokonaisepävarmuuden arvioinnissa tulee
ottaa huomioon kaikki epävarmuuslähteet. Mittausepävarmuusanalyysillä voi-
daan arvioida, mitkä mittausmenetelmän osatekijät vaikuttavat merkittävästi tu-
loksen epävarmuuteen ja mitkä eivät. Mittauksissa esiintyy yleensä systemaattisia
sekä satunnaisvirheitä. Systemaattinen virhe pysyy suuruudeltaan vakiona vakio-
olosuhteissa, eikä sitä voida eliminoida mittauskertoja lisäämällä. Tämä virhe voi-
daan kuitenkin korjata, jos se tunnetaan. Päästömittauksissa esimerkiksi kaasu-
määrämittarin systemaattinen virhe voidaan saada selville mittarin kalibroinnin
avulla, jonka perusteella voidaan tarvittaessa määrittää mittauksen korjausker-
roin. Satunnaisvirheet muodostuvat ennalta ennustamattomissa olevista muutok-
sista mittauksessa ja sen aikana. Satunnaisvirheitä voi tapahtua esimerkiksi kirja-
us- ja lukemavirheistä tai otettavan näytteen virheellisyydestä. Satunnaisvirhei-
den suuruutta voidaan kuitenkin pienentää tekemällä lisää rinnakkaisia toistetta-
vissa olevia mittauksia. On tärkeää, että kiinnitetään huomiota mittauksen todelli-
suuteen, sekä lisätään kriittistä huomiota tulosten oikeellisuuteen jo mittauspai-
kalla. Satunnaisvirheiden sekä pienten, vaikutusalueeltaan tuntemattomien, sys-
temaattisten virheiden vaikutuksesta syntyvää mittausepävarmuutta voidaan ar-
vioida siihen tarkoitettulla yhtälöllä (KAAVA 5). (SFS-EN 5512, 1989.)

$$q_v = \pm \sqrt{a_1 \cdot m_1^2 + a_2 \cdot m_2^2 \dots + a_n \cdot m_n^2} \quad (5)$$

m	=mittauksen suhteellinen epätarkkuus
m_1, m_2, \dots	=lopulliseen mittaustulokseen vaikuttavien tekijöiden suhteelliset epä- tarkkuudet
a_1, a_2, \dots	=kertoimet, jotka ottavat huomioon kunkin epätarkkuuden vaikutuk- sen lopputulokseen

7 MITTAUSTEN JA ENERGIALASKENNAN SUORITTAMINEN MAALAAMOJEN POISTOILMOISTA

Mellano Oy:n maalaamojen sekä maalauslinjojen poistoilmojen virtausmääriä ja lämpötiloja oli jo ennalta arvioitu jonkin verran yrityksen suuren energiakulutuksen vuoksi. Ennalta arvioidut lukemat ja määrät auttoivat vertaamaan sekä havainnollistamaan mittauksen aikana mitattujen arvojen todellisuutta. Koska yrityksen maalausprosesseissa käytetään paljon energiaa ilman lämmitykseen sekä kostuttamiseen oikeisiin olosuhteisiin, oli ajankohtaista selvittää poistoilmojen mukana ulos kulkeutuvat energiamäärät. Useimmissa tapauksissa poistoilmavirrat menivät suoraan ulos tehdashallista ilman minkäänlaista lämmönhyödyntämisjärjestelmää. Maalausprosessien vaihtelevuuden ja erilaisuuksien takia, eivät poistoilmat ole täysin puhtaita osassa putkistoja. Poistoilmojen mukana kulkeutuvan energian määrää alettiin aluksi määritellä tutkimalla mahdollisia putkistokuvia suotuisien mittauskohtien ja tasojen löytämiseksi. Koska puunpintakäsittelylaitteistojen putkistot olivat melko lyhyitä sekä mutkaisia, pyrittiin löytämään ja selvittämään tarkasti mittauksille parhaiten soveltuvat kohdat. Aina emme kuitenkaan saaneet mittauskohdille täysin optimaalisia kohtia, mutta pyrimme kuitenkin arvioimaan virtausolosuhteet parhaimmiksi mahdollisiksi.

7.1 Mittauksissa käytettävät laitteet

Virtausmittaukset suoritimme kahdella erityyppisellä mittarilla, jotta voisimme olla varmoja oikeiden tuloksien saamisesta. Tällä tavoin pystyimme huomaamaan ja erottamaan jo mittaushetkellä tapahtuvat satunnaiset käyttäjästä johtuvat virtausnopeuden virheet. Käytössämme olevat mittarit olivat kuumalanka-anturilla varustettu mittari sekä pienellä siipipyöräänemometrianturilla varustettu mittaus-

laite. Putken halkaisijan määrittelyssä käytettiin perinteistä rullamittaa sekä mittauskeppiä. Poistoilmojen lämpötilojen ja kosteuksien selvittämiseen käytettiin Väisälän valmistamaa monitoimimittaria. Mittauksissa käytettyjen mittareiden yhteensopivuudessa ei ollut ongelmia ja ne olivat ajanmukaisesti kalibroituja ja huollettuja (KUVIO 17).



KUVIO 17. Mittaukset suoritettiin kolmella eri mittarilla

7.2 Mittaustulosten analysointi ja laskelmat

Kostean ilman energiasisällön määrittämiseksi on tunnettava poistoilman virtaus, lämpötila ja kosteus. Lisäksi tilavuusvirran määrittämiseksi on myös selvitettävä virtausputken halkaisija. Mittasimme Mellano Oy:n maalauslinjastojen poistoilmojen virtaukset, lämpötilat, kosteuspitoisuudet sekä poistoilmaputkien halkaisijat. Mitattujen arvojen avulla teimme energialaskelmat entalpia-analyysia soveltamalla. Poistoilmojen tilavuusvirtaukset määritellään kertomalla mittauspisteen keskimääräinen virtausnopeus virtausputken halkaisijalla kaavan (6) mukaisesti. Laskettaessa ilmanvaihdon mukana poistuvaa energiaa, tulee tarkastella sisään tulevan ulkoilman ja poistuvan ilman sisäenergiaa. Talvikauden aikana poistuvan ilman sisäenergia on suurempi kuin tulevan ilman, koska poistuva ilma on läm-

pimämpää ja siihen on haihtunut kosteutta. Laitteistoissa ilman lämpeneminen ja veden höyrystäminen vaativat myös energiaa. Kostean ilman entalpia-arvot voidaan määrittää kaavalla (7).

$$\dot{V} = A \cdot v \quad (6)$$

$$h = c_1 \cdot T + x(l_h + c_h \cdot T) \quad (7)$$

c_1 = kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg × °C)]

x = absoluuttinen kosteus [kg/kg]

l_h = veden höyrystymislämpö [kJ/kg]

c_h = vesihöyryyn ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg × °C)]

T = kostean ilman lämpötila [°C]

Kostean ilman entalpiapitoisuuden määrittämiseen voidaan käyttää myös kostean ilman Mollier-piirrosta (LIITE 1/12.). Diagrammin avulla voidaan saada määritettyä ilman energiasisällöt melko tarkasti. Koska ilman sisältämän energian laskelmissa täytyy kuitenkin käyttää tarkimpia mahdollisia arvoja, voidaan entalpia-arvojen määrittämiseen käyttää siihen tarkoitettuja erityisohjelmia. Ohjelmia käytettäessä tulee varmistua niiden oikeanlaisesta käytämisestä, jotta niiden avulla saaduista laskentatuloksista tulee realistisia ja tarkkoja. Mellano Oy:n poistoilmojen entalpia-arvojen määrittelyyn käytimme pääasiassa PsychTool-ohjelmaa, jota olimme käyttäneet myös aiemmissa harjoituslaskelmissa.

Putkessa virtaavan ilman massavirta määritetään kaavan (8) avulla. Massavirtaa laskettaessa tulee tietää mihin olosuhteisiin mittausta verrataan. Ilmastoinnin mittauksissa emme ottaneet huomioon painekorjausta, vaan laskimme mittausarvot normaaliolosuhteissa, jolloin käytimme ilman massavirran määrittelyssä ilmalle standarditiheyttä 1,20 kg/m³. Poistuvan ilman energiamäärä kuukausittain saa-

daan kertomalla ilmanvaihdon massavirta sisäilman ja ulkoilman entalpia-arvojen erotuksella. Koska ulkoilman entalpia-arvot vaihtelevat päivittäin, selvitimme ilmatieteenlaitokselta Lapinlahtea lähimmän säähavaintoaseman kuukausittaiset keskilämpötilat ja keskikosteusarvot vuodelle 2010 (LIITE 1/10). Näiden avulla pystyttiin määrittämään kuukausikohtaiset entalpia-arvot verrattavalle ulkoilmalle. Tarkemmat energialaskelmat olisi kuitenkin pystytty tekemään päivittäisten ulkoilman lämpötilojen ja kosteusarvojen avulla. Arvioimme kuitenkin riittäväksi tarkkuudeksi energiamittauksiin ulkoilman kuukausikohtaiset sääarvot. Kun ulkoilman entalpia-arvot on saatu määriteltä, voidaan ilmanvaihdon mukana poistuva energiavirta määritellä kaavan (9) mukaisesti.

$$\dot{m}_v = \dot{V} \cdot 1,20 \text{ kg/m}^3 \quad (8)$$

$$Q_{ilmavaihto} = \dot{m}_v \cdot (h_s - h_u) \quad (9)$$

m = ilman massavirta

V = tilavuusvirtaus

h_s = sisäilman entalpia

h_u = ulkoilman entalpia

Ilmanvaihdon mukana poistuva keskimääräinen energiamäärä voidaan tarpeen mukaisesti ilmoittaa tietylle aikajaksolle. Vertausaikajaksena voidaan käyttää esimerkiksi tiettyä mennyttä vuotta. Mellano Oy:n energialaskelmissa käytimme vertausaikajaksena vuotta 2010. Poistuvan energian määrää voidaan kuvata rahallisesti vertaamalla sitä esimerkiksi kaukolämmön hintaan. Tarkemmat laskelmat Mellano Oy:n maalauslinjojen sekä käsimaalauslinjojen poistoilmojen energiavirroista on esitetty mittauspöytäkirjassa (LIITE 1.1-7).

8 LÄMMÖN TALTEENOTTAMISMENETELMÄT

8.1 Lämmöntalteenotto ilmastointijärjestelmästä

Lämmönvaihtimen toiminta perustuu yleensä lämmön johtumiseen ja lämpösäteilyyn väliaineesta toiseen. Lämmöntalteenoton avulla voidaan ottaa koneellisesti poistettavasta ilmasta lämpöä talteen, ja tällä lämmöllä voidaan esimerkiksi lämmittää ulkoa sisään tulevaa puhdasta ilmaa. Tämän avulla voidaan mm. pienentää rakennusten ja tehdashallien tuloilman lämmityskustannuksia. LTO-laitteen tulo- puolella käytetään yleensä suodatinta, joka poistaa tuloilmasta suuremmat epäpuhtaudet ja partikkelit. LTO-laitteen kuori tulee varustaa huoltoluukuilla, virtaussuuntaa osoittavilla nuolilla tai merkinnoilla sekä riittävällä määrällä lämpömittareita. LTO-laitteiden pitää olla puhtaita, jotta voidaan taata tulevan sisäilman hygieenisuus. Teollisuusilmastoinnin lämmöntalteenottoon soveltuvat yleensä samat laitetyypit, jotka ovat käytössä esimerkiksi suurissa toimisto- ja liikerakennusten ilmastoinneissa. Lämmönsiirtimen laite ja materiaalivalinnat sekä poistoilman puhdistusmenetelmät ennen lämmöntalteenottoa on suunniteltava huolellisesti, koska poistoilmassa olevat epäpuhtaudet yleensä likaavat ja syövyttävät lämmönsiirtopintoja. (Harju 2008a; Heikkilä ym. 2008, 53.)

Lämmöntalteenotossa lämmön varastointimateriaali voi olla esimerkiksi pyörivän kennon alumiinimassa tai jäätymätön lämmönsiirtoneste. LTO-laitteiden tiiviiden on oltava samaa luokkaa kuin ilmastointikoneen tiiviysluokan ja ilman on jakaututtava tasaisesti LTO-laitteen pinnoille, jotta hyötysuhde olisi paras mahdollinen. Jos lämpö siirtyy suoraan poistoilmasta sisään otettavaan ulkoilmaan ilmavirtoja erottavan levyn lävitse, kysymyksessä on suora järjestelmä, jota kutsutaan rekuuperatiiviseksi lämmönsiirtimeksi. Jos taas lämpöä siirtävä aine varastoi itseensä läm-

pöä ja vuorotellen lämpenee ja jäähtyy ilmapirrassa, on kysymyksessä lämpöä varastoiva regeneratiivinen lämmönsiirrin. (Harju 2008a, 73; Heikkilä ym. 2008, 53.)

8.2 Lämmönsiirtimien erityisvaatimukset

Kun lämmöntalteenottoa suunnitellaan, tulee siihen liittyvät prosessit optimoida jo etukäteen. Tämän jälkeen voidaan arvioida potentiaalia talteenotettavalle lämmön määrälle ja erityisesti sen jatkohyödyntämiselle. Ennen kuin voidaan suunnitella ja valita käytettävä prosessikohtainen lämmöntalteenottolaitteiston tyyppi, on yleensä tiedettävä poistoilmassa olevien epäpuhtauksien laatu ja määrä. Teollisuuden poistoilmoissa olevat epäpuhtaudet saattavat usein olla hyvinkin syövyttäviä ja aggressiivisesti kiinni tarttuvia aiheuttaen ongelmia lämmönsiirtopinnoille. Teollisuuden tavallisimpia poistoilmojen epäpuhtauksia ovat pölyt, hitsauskäryt, savut, öljysumut, maalit ja liuottimet sekä näiden yhdistelmät, mitkä ovat usein huomattavasti vaikeampia käsitellä kuin muut yksittäiset epäpuhtaudet. Esimerkiksi puun teollisessa pintakäsittelyssä käytetään usein erityyppisiä lakkoja ja maaleja sekä näiden yhdistelmiä, joista irtoavat likaisuudet kulkeutuvat puhallusilman mukana. Maalamoista ulos johdettavat poistoilmat sisältävät usein likaisia epäpuhtauksia ja näin ollen asettavat erityisvaatimukset asennettaville lämmöntalteenottolaitteistoille. Ennen poistoilmojen hyödyntämiseen tarkoitetun laitteiston suunnittelua tulee analysoida poistoilmojen mukana kulkevat epäpuhtaudet, jotta voidaan suunnitella kestävä ja taloudellinen ratkaisu lämmön talteenottoon. (Harju 2008a, 73; Heikkilä ym. 2008, 53.)

8.3 Yleisimmät lämmönsiirrintyypit

8.3.1 Levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirrin on yksinkertainen lämmöntalteenottolaite, koska siinä ei ole erillisiä liikkuvia osia. Se on yleensä alumiinista koottu paketti, joiden raoista poistoilma pääsee virtaamaan ulos ja lämmittää samalla seinäminä olevia alumiinilevyjä. Kylmä puhdas ulkoilma tulee aina viereisistä raoista sisään ja ottaa samalla lämpöä mukaansa lämmentä alumiiniseinämistä. Ilmavirrat eivät sekoitu levylämmönsiirtimeissä keskenään ja eivätkä tämän takia aiheuta puhtausongelmia ilmastoinnille. Levylämmönsiirtimeen hyötysuhde on melko hyvä, noin 50–65% luokkaa. Sen edullisia ominaisuuksia ovat vähäinen huollon tarve sekä helppo puhdistaminen. (Harju 2008a, 75.)

Levylämmönsiirtimeen suurimpana ongelmana on vesihöyryn tiivistyminen lämmönsiirtimeen pinnalle vedeksi, joka voi kylmällä ilmalla huurtua. Siirrin on tämän vuoksi viemäroitava kondenssiveden takia. Levylämmönsiirtimeissä vesihöyryn tiivistyminen siirrinpinnoille vapauttaa samalla lämpöä ja suurentaa lämmönsiirtimeen tehoa täysin kuivin siirrinpinnoin toimivaan siirtimeen verrattuna. Lämmönsiirtimeen huurtumista valvotaan paine-eromittauksella lämmönsiirtimeen molemmilla puolilla, koska huurtuminen johtaa yleensä lämmönvaihtimen tukkeutumiseen. Huurteen tarkkailu voidaan toteuttaa myös valokennojen avulla. Kun kennojen välissä on huurretta, ei valokennon säde tavoita toisella puolella olevaa anturia ja laite antaa hälytyksen. Hälytyksestä seuraa toimenpide, jossa ilmavirtaa pienennetään tai sille avataan ohitusväylä suoraan LTO-laitteen ohi. Kun huurre on riittävästi sulanut lämmönsiirtimeen pinnasta, laite palaa normaaliin toimintaansa. LTO-laitteen suurin sallittu vuotoilmavirta on noin 6 % laitteelle suunnitellusta tuloilmavirrasta, kun paine-ero poisto- ja tulopuolen välillä ennen lämmöntalteenottoa on yli 250 Pa. Lämmöntalteenotto-kenno tulee myös puhdistaa sekä

pestä 1-2 vuoden välein vedellä ja pesuaineella, jotta mahdollisilta epäpuhtauksilta välttyttäisiin. Puhdistuksen yhteydessä kennon ilmasuodattimet puhdistetaan sekä tarpeen mukaan vaihdetaan uusiin. (Harju 2008a, 73.)

8.3.2 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin on regeneratiivinen lämpöä varaava siirrin. Sen toiminta perustuu suureen reiälliseen kiekkoon, jonka läpi tulo- ja poistoilma virtaavat. Kiekon materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi alumiinia. Pyörivän lämmönsiirtimen vaippa varustetaan yleensä pyörimissuuntanuolilla. Jos käytettävä roottori on hygroskooppinen, pystyy se siirtämään kosteutta ja epäpuhtauksia poistoilmasta myös tuloilmaan. Tällaista siirrinrakennetta ei käytetä, jos likainen poistoilma ei saa sekoittua tuloilmaan. Lämmönsiirtimen ilmavirtaratkaisuja voi olla muutamia. Poistoilma voi virrata esimerkiksi kiekon yläosan läpi ja tuloilma taas kiekon alaosan lävitse. Yleisimmässä rakenteessa kiekon yläosa on poistoilmakanavassa, alaosa tuloilmakanavassa. Poistoilman sisältämä lämpö varastoituu pyörivän kiekon massaun, jolloin kiekko lämpenee ja poistoilma jäähtyy. Kun kiekko on pyörinyt tuloilmakanavan kohdalle, siellä virtaava kylmempi tuloilma lämpenee. (Harju 2008a, 75.)

Pyörivän siirrinmenetelmän haittana ovat poistoilman mukana tuloilmaan siirtyvät epäpuhtaudet sekä kosteus. Tämä ongelma on poistettu lisäämällä laitteeseen ns. puhdistussektori, jolla voidaan muodostaa pieni erotteluvyöhyke tulo- ja poistoilmavirtojen välille. Lämmönsiirtimen tehoa voidaan säätää kiekon pyörimisnopeuden muutoksilla nolasta johonkin kiekolle ominaiseen maksimiarvoon. Paikalla oleva lämmönsiirrin ei siirrä juuri lainkaan lämpöä, joten pyörimisliike on kiekolle välttämätöntä. Lämmön siirtyminen paranee kiekon pyörimisnopeutta lisäämällä mutta jollakin nopeudella saavutetaan raja, jonka jälkeen lämmönsiir-

tyminen ei enää lisäännä. Lämmönsiirtimen käynnistyksessä ilmapuhaltimet ovat puoliteholla ja kiekon pyörimisnopeus on maksimikierrosluvuilla, jotta kiekon lämpötila saadaan tasoitettua. (Harju 2008a, 75.)

Huurtumista pitää myös valvoa pyörivässä lämmönsiirtimessä. Kun paine-ero on noussut riittävän suureksi, roottorin pyörimisnopeus laskee. Laitteiston normaalin toiminnan yhteydessä puhaltimet käyvät, ulkopellit ovat auki ja tuloilman lämpötilaa säädetään kanava-anturin mukaisesti. Jos tuloilman lämpötila laskee asetetun asetusarvon alapuolelle, otetaan lämpöä lisää poistoilmasta lämmöntalteenoton avulla. Tällöin LTO-kiekon pyörimisnopeus lisääntyy. Jos lämpöä tarvitaan vieläkin lisää, sitä saadaan lämmityspattereista. Pyörivän lämmönsiirtimen toimintaa tulee myös seurata tekemällä lämpötilamittauksia sekä tarkastuksia huurteen ja jäänsulatuslaitteiston toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi tarkastuksissa tulee ottaa huomioon kondenssiveden, vesilukon ja suodattimien puhtaus sekä toimivuus. (Harju 2008a, 77.)

Pyörivän lämmönsiirtimen painehäviöt ovat alhaisia, ja laitteen lämpötilahyötysuhde on jopa 85 %. Lämmönsiirtimen pyörintään käytetään yleisesti askelmoottoria, jonka avulla nopeutta ja lämmöntalteenottoa voidaan ohjata tarkasti. Pyörivä LTO-laite voi toimia myös päinvastaisella tavalla kuin lämmöntalteenotossa. Kun ilmenee tarvetta jäähdytykselle, laite ottaa talteen kylmää yhtä tehokkaasti kuin lämpöä. Pyörivässä lämmönsiirtimessä tapahtuu jonkin verran ilmavirtojen sekoittumista, jolloin poistoilma voi sekoittua puhtaampaan tuloilmaan. Tätä epäsuotuisaa vuotovirtausta voidaan ehkäistä pitämällä tuloilman paine hieman poistoilman painetta suurempana. Jos lämmönsiirtimessä on erillinen puhdistussektori, voidaan epäpuhtaudet palauttaa puhtaalta puolelta takaisin likaiselle puolelle. (Harju 2008a, 77.)

8.3.3 Nestekiertoiset lämmönsiirtimet ja massavaraaja

Nestekiertoisen lämmönsiirtimen perusosat koostuvat yleensä tulo- ja poistoilmavirtaan sijoitetuista lamellipattereista. Pattereissa täytyy kierrättää esimerkiksi vesi-glykoliseosta, joka ei voi jäätyä. Laitteen tehonsäätö toimii säätöventtiilillä, jolla voidaan säätää tuloilmavirrassa olevan patterin läpi kulkevaa nestevirtaa. Vesi-glykolijärjestelmällä toimivassa lämmöntalteenotossa tulee tarkistaa sopivin väliajoin nestemäärä sekä sen pitoisuus. Lisäksi huoltojen yhteydessä pitää tarkistaa mahdolliset nestevuodot sekä lisätä tarpeen vaatiessa lisää nestettä järjestelmään. LTO-laitteen lämmönsiirtopinnat puhdistetaan ajoittain sekä kiertopumppujen toimivuus tarkistetaan. Lämpötilojen seuranta ja kirjausta tehdään viikoittain sekä lasketaan laitteiston hyötysuhde ainakin kerran vuodessa. Lämpöputkipattereissa on yleensä alumiinista tai kuparista valmistettu ripaputkipatteri, jossa lamellit ovat alumiinia ja putket kuparia. Patterissa olevat nesteputket ovat päistään suljettuja kupariputkia, joiden sisällä on kylmäaine. Kylmäaine jäähtyy sekä lauhuu tuloilman viilentävästä vaikutuksesta ja höyrystyy poistoilman lämmössä. Tämän prosessin avulla kylmäaine siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Lämpöputkipatterin lämpötilahyötysuhde on noin 50–80 % luokkaa. (Harju 2008a, 77.)

Massavaraajat ovat myös eräänlaisia lämmönsiirtimiä. Varaava lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa lämmittämällä ja jäähdyttämällä vuorotellen kiinteää massaa. Kun käytössä on kaksi erillistä varaavaa massaa, saadaan järjestelmän toiminta saada jatkuvaksi. Toinen massoista jäähtyy sekä samalla taas toinen lämpenee ja päinvastoin. Laitteiston ilmavirtauksien säätämiseen voidaan käyttää erillistä peltijärjestelmää. Massavaraajan lämmöntalteenoton hyötysuhde muuttuu samalla kun jakson pituus muuttuu. Mitä suurempi pyörimisnopeus eli jakso, sitä suurempi on laitteen hyötysuhde. Varaavien lämmönsiirtimien avulla voidaan säästää jopa 80 % hyötysuhde. (Harju 2008a, 79.)

8.3.4 Erikoisolosuhteisiin sopivat lämmönsiirtimet

Lasiputkilämmönsiirrin on yksi vaihtoehto likaisten poistoilmojen energian talteenottoon. Lasiputkilämmönsiirtimiä on käytetty 1970-luvulta lähtien ja se on todettu olevan korroosiokestävyydeltään yksi parhaimmista vaihtoehtoista. Putkien materiaalina käytetään yleisesti borosilikaattilasia, joka on korroosionkestomaisuuksiltaan erittäin hyvä. Se pystyy sietämään pienen lämpöpiteneiskertoimen vuoksi nopeita ja suuria lämmönvaihteluita rikkoutumatta ja soveltuu näin ollen vaativiinkin olosuhteisiin. Lasipinta on sileämpi kuin minkään metallin pinta ja tämä auttaa estämään likaantumista. Puhdistaminen on myös helpompaa kuin metallista valmistetulla siirtimellä. Lasiputkilämmönsiirtimiä on yleisesti käytössä kohteissa, joissa on teollisuuden syövyttäviä aineita sisältämiä poistoja. Ilmanvaihtokojetuotannossa lasiputkimodulirakenteinen LTO-laite on edullisin tapa valmistaa haponkestävä lämmönsiirrin. Laite on myös täysin tiivis poisto- ja tulopuolen välillä eikä epäsuotuisaa ilmavirtojen sekoittumista tapahdu. (TaniPlan 2010.)

Teollisuuden prosessien lämmöntalteenottamislaitteistot voidaan valmistaa happoja ja muita syövyttäviä aineita kestävästä materiaaleista. Materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi muovia, kuparia, titaania, alumiinia, ruostumaton tai haponkestävää terästä. Lisäksi poistoilmojen epäpuhtaudet voidaan erottaa poistoilmasta ennen lämmöntalteenottolaitetta esimerkiksi vesipesun sekä erilaisten suodattimien avulla. Oikean lämmöntalteenottolaitteen valinnassa on tärkeää huomioida laitteen kokonaisinvestointikustannukset verrattuna saatuun käytönaikaiseen hyötyyn. Oikeatyypisen lämmöntalteenottolaittejärjestelmän hankkimiseksi olisikin tehtävä erityinen suunnitelma ja toiminta-analyysi kyseisiin laitteisiin perehtyneellä yrityksellä tai henkilöllä. Tämän avulla saadaan kehitettyä erityinen juuri kohteeseen parhaiten sopiva lämmöntalteenottolaitteisto. (Harju 2008a.)

8.4 Lämmönvaihtimien lämmitys- ja jäähdytystehon määrittely

Kun halutaan selvittää lämmönvaihtimen läpi sisältä poistuvaan jäteilmavirtaan kohdistuva jäähdytysteho, tulee mitata ilman lämpötila sekä virtausnopeus ennen komponenttia ja sen jälkeen. Samalla tavalla voidaan määrittää ulkoa lämmönvaihtimen läpi sisälle tulevaan puhtaaseen ilmaan kohdistuva lämmitysteho. Lämmitys- ja jäähdytysteho voidaan laskea kaavalla (10). (SFS-EN 5511-5512, 1989.)

$$\phi = A \cdot v_m \cdot (\bar{T}_1 - \bar{T}_2) \cdot \rho \cdot c_p \quad (10)$$

A = poikkileikkauksen pinta-ala mittakohdassa, m

v_m = mitattujen nopeuksien keskiarvo, m/s

T_1 = lämpötilan painotettu keskiarvo ennen lämmönvaihdepintaa, K

T_2 = lämpötilan painotettu keskiarvo lämmönvaihdepinnan jälkeen, K

p = ilman tiheys, kg/m³

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K

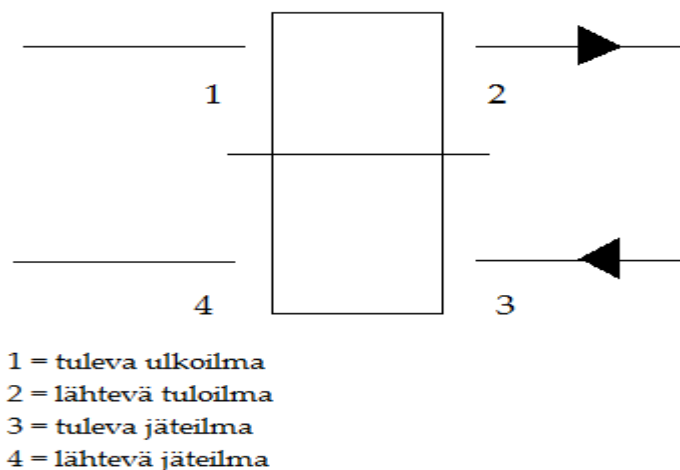
8.5 Lämmönvaihtimen hyötysuhteen määritteleminen lämpötiloja hyödyntäen

Lämmönvaihtimen hyötysuhde määritetään jo suunnitteluvaiheessa mutta käytönaikaisissa tarkasteluissa ja analyyseissa voidaan myös joutua tarkastelemaan ja laskemaan LTO-laitteen toimivuutta kuvaavaa hyötysuhdetta. Tällöin usein tarkoitetaan laitteen lämpötilahyötysuhdetta. Muita laskelmissa käytettäviä hyötysuhteita ovat entalpia- ja kosteushyötysuhde, jotka voidaan määrittää myös mittausten avulla. Hyötysuhteen laskennassa mitataan lämpötilan LTO-laitteen eri puolilta (KUVIO 18). Yleensä lämpötilan jakauma on epätasainen ja mittausanturin on oltava säteilysuojattu, jotta mittausarvoista saadaan tarkat ja realistiset. Jos

mitattavan LTO-laitteen läpi kulkevat ilmavirrat ovat yhtä suuret, voidaan lämpötilahyötysuhde η_t laskea kaavan 11 avulla, kun tiedetään ilman lämpötilat laitteen eri puolilla. Jos ilmavirrat ovat erisuuret, pitää ilmoittaa myös lämpötilahyötysuhteen lisäksi ulko- ja jäteilmavirran suhde. Tarvittaessa voidaan myös mitata ilmavirrat, ilman kosteus sekä paine-erot LTO-laitteen yli sekä tulo- ja poistoilmojen välillä. Usein tässä yhteydessä määritetään myös LTO-laitteen jäätymisalttius laitteiden tyyppihyväksyntäohjeita soveltaen. (SFS-EN 5511–5512, 1989.)

$$\eta_t = (t_2 - t_1) / (t_3 - t_1) \quad (11)$$

t_1, t_2, t_3 = lämpötilat LTO-laitteen eri puolilla



KUVIO 18. LTO-laitteen ilmavirtojen määrittelyt

8.6 Mellano Oy:n nykyinen lämmöntalteenottolaitteisto

Maalaamon poistoilmojen mukana ulospuhallettavaa energiaa ei oteta talteen suurimmassa osassa poistoputkistoja. Maalauslinja 1 kerroskuivaajasta poistuvan ilman energiaa kuitenkin hyödynnetään levylämmönvaihtimella, jossa ulkoa maalauslinjoille tulevaa puhdasta ilmaa voidaan lämmittää poistoilmojen sisältämän

lämmön avulla. Nykyinen levylämmönsiirrin on ristivirtaperiaatteella toimiva lämmönvaihdin, jonka toimivuudesta tehtiin pienimuotoisia analyysejä mittaus-tietojen avulla. Lämpötilatarkastelun avulla mm. tutkittiin mittaushetken ulkoil-maolosuhteiden mukainen lämpötilahyötysuhde. LTO-laitteen hyötysuhteeksi laskettiin 41,5 %, josta voidaan päätellä, että lämmönvaihdin ottaa poistoilmoista energiaa ja siirtää sitä tuloilmaan. Lämmöntalteenottolaitteiston mittauksissa saa-dut tulokset on esitetty taulukossa 2 sekä tarkemmat laskelmat LTO-laitteen hyö-tysuhteesta mittauspöytäkirjassa (LIITE 1).

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta nykyisen lämmöntalteenottolaitteiston olevan hyödyllinen. Lämmönsiirtimen avulla siirretään kerroskuivaimesta tulevaa 33,5 asteista lämpöä johtumisen ja säteilyn avulla -2.2 asteiseen tuloilmaan. Tu-loilman lämpötilaa saadaan nostettua -2,2 asteesta noin 12,6 asteeseen, joka tar-koittaa pattereilla suoritettavan tuloilman lämmitystarpeen vähenemistä prosessi-en vaativiin olosuhteisiin. Kulkevien ilmamäärien entalpia-arvot eli energiasisällöt vaihtelevat kosteuden ja lämpötilan mukaisesti.

TAULUKKO 2. LTO-laitteen mittauksien tulokset

Mitattu arvo	°C	Abs g/m ³	RH %	Td °C	V m ³ /s	h kJ/kg
Tuloilma, ennen LTO	-2.2	2.2	54.3	-9.2	2.823	2.179
Tuloilma, LTO jälkeen	12.6	2.1	18.7	-10.6	2.075	16.885
Poistoilma, ennen LTO	33.5	3.1	8.3	-4.9	1.126	40.512
Poistoilma, LTO jälkeen	6.1	3.1	40.5	-6.3	1.004	12.053

9 POISTOILMOJEN LÄMMÖNTALTEENOTTAMISEHDOTUKSET

Pintakäsittelylinjan 1 kerroskuivaimesta ulospuhallettava poistoilma on puhdasta ilmaa, ja se soveltuu sellaisenaan levylämmönsiirtimelle. Tätä onkin hyödynnetty jo olemassa olevan lämmöntalteenottolaitteiston avulla. Kuitenkin suurin osa uudemman maalauslinjan sekä käsimaalauslinjojen poistoilmoista ohjataan suoraan ulos. Poistoilmojen mukana kulkevaa energiaa ei ole vielä hyödynnetty, koska osa poistoilmoista sisältää likaisuuksia. Ulospuhallettavien ilmojen tarkan sisällön määrittämiseksi tulisi tehdä erityiset analyysit esimerkiksi kaasuanalysaattorilla tai muulla mittaukseen soveltuvalla mittauslaitteistolla. Kun likaisten poistoilmojen tarkat sisällöt saadaan selvitettyä, voidaan suunnitella maalauspisteiden poistoilmoille soveltuva lämmöntalteenottolaitteisto. Laitteisto voitaisiin suunnitella maalauslinjastojen poistoilmojen epäpuhtauksia kestävästä materiaalista tai kehittää peruslämmöntalteenottolaitteiston yhteyteen poistoilmojen epäpuhtauksien puhdistusmenetelmä.

Koko järjestelmälle tulisi tehdä tarkemmat selvitykset kaikkien tuloilmojen lämmityksen tarpeesta sekä muista energian käyttökohteista, jotta voitaisiin selvittää mahdolliset lämmönhyödyntämiskohteet. Lämmönhyödyntämiskohteiden määrittelyn avulla voidaan tehdä tarkemmat laskelmat hukkaenergian talteenottamissuunnitelmaan. Kun tarkemmat tiedot poistoilmoista, energian hyödyntämiskohteista sekä laitteiston muista mahdollisuuksista on tehty, voidaan niiden perusteella suunnitella lämmöntalteenottolaitteistot ja niiden yhteyteen asennettavat muut komponentit sekä järjestelmät. Likaisten poistoilmojen talteenottamiseen voitaisiin käyttää lämmönsiirtimiä, joiden materiaalit olisivat epäpuhtauksia kestäviä. Soveltuvia siirrinmateriaaleja voisivat olla esimerkiksi kupari, titaani, alumiini, ruostumaton tai haponkestävä teräs. On kuitenkin tärkeää, että mahdollisesti myöhemmin toteutettava LTO-järjestelmä on tehty ongelmallisten aineiden vaatimusten

mukaisesti ja kestää pidemmän aikajakson, jotta takaisinmaksuaikaa voidaan lyhentää laitteiston kokonaisinvestoinnin hyväksi.

10 YHTEENVETO

Mellano Oy:n poistoilmojen mukana kulkeutuvien ilmamäärien laskentatulokset havainnollistavat prosesseissa hukattavaa kokonaisenergiaa kuukausi- ja vuositasolla. Laskentatulosten avulla saadaan keskimääräinen kuva siitä, kuinka paljon energiaa hukkaantuu eri maalausprosessien yhteydessä. Mittaukset antavat hyvän pohjan yritykselle mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten ja antaa pienimuotoisen kuvan tämän hetken järjestelmän energiatehokkuudesta.

Opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena oli laskea poistoilmojen mukana ulos kulkeutuvat energiamäärät ja selvittää hukkaenergian mahdollisia hyödyntämisvaihtoehtoja. Koska poistoilmojen mittaukset sekä energiamäärien laskenta olivat yrityksen asettamia päätavoitteita, jätettiin lämmön hyödyntämismahdollisuuksien tarkastelu opinnäytetyössä pienemmäksi osuudeksi. Opinnäytetyön yrityskohmainen osuus saatiin kuitenkin suoritettua tarkoituksenmukaisesti ja melko onnistuneesti. Uskomme, että yrityksen on helppo jatkaa teknistä kehitystoimintaansa tekemiemme mittauksien ja analyysin avulla eteenpäin kohti energiatehokkaampaa tuotantojärjestelmää.

Kokonaisuutenaan tämä opinnäytetyöprojekti on ollut erittäin mielenkiintoinen sekä opettanut molemmille tekijöille uusia puutekniikkaan ja energiatekniikkaan liittyviä asioita. Poistoilmojen mittausten yhteydessä saamamme mittauskokeemukset voivat antaa meille jatkossa hyvän pohjan samantyyppisten mittausten suorittamiseen. Mielestämme tulevaisuudessa on erittäin tärkeää suunnata kohti energiatehokkaampia tuotantojärjestelmiä kiihtyvän energianhinnan sekä ympäristön saastuttamisen estämiseksi. Tähän voidaan päästä tekemällä jokaista tahoja hyödyntäviä energiansäästöllisillä toimenpiteillä sekä henkilö- että yhteisötasolla.

LÄHTEET

- Grannenfelt, K. 1996. Puun teollinen pintakäsittely. 1. painos. Vantaa: Tikkurila Oy.
- Haataja, S. 2004. Tikunnousun vähentäminen MDF-levyn pintakäsittelyssä. CENTRIA Tutkimus ja kehitys projektiin Pinta 2002 tehty tutkimus. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu.
- Harju, P. 2008a. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. 1. painos. Anjalankoski: Penan tieto-opus Ky.
- Harju, P. 2008b. Ilmastointitekniikan oppikirja 2. 1. painos. Anjalankoski: Penan tieto-opus Ky.
- Harju, P. 2006. Talotekniikan perusteet 2. 1. painos. Kouvola: Penan tieto-opus Ky.
- Hautalampi, T. 2008. Teollisuustilojen ilman laadun ja lämpöolojen hallinta. Työ-terveyslaitos. Pdf-julkaisu. Saatavissa: http://www.tsr.fi/c/document_library/get_file?folderId=13109&name=DLFE-2018.pdf. Luettu 21.3.2011.
- Heikkilä, I., Huumo, M., Siitonen, S., Seitsalo, P. & Hyytiä, H. 2008. Teollisuuden energiatehokkuus. 1. painos. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>. Luettu 30.3.2011.-
- Kalema, T., Taivalantti, K., Keränen, H., Teikari, M., Luhanka, J., Ripatti, R. & Saarela, T. 2003. Rakennusten lämmöntarpeen laskentaohje. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kuikka, K. & Kunelius, K. 1992. Puutekniikka 2. 1. — 2. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino.
- Kuopanportti, N. 2003. MDF-levyn esikäsittely. CENTRIA Tutkimus ja kehitys projektiin Pinta 2002 tehty tutkimus. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu.
- Mellano Oy. 2010. Mellano Oy. Saatavissa: <http://www.mellano.fi/mellano.html>. Luettu 1.4.2011.
- Becker Acroma. 2000. Pintakäsittelyn perusteet. 1.painos. Helsinki: Art & Design/Anspråk As.
- Puun teollinen pintakäsittely. 2007. 1.painos. Vantaa: Akzo Nobel Coatings Oy.
- SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. 1989. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS 5512. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. 1989. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Simola, H. 2011. Ilmatieteenlaitos, kuukauden keskilämpötilat ja -kosteudet Maaningalla. Sähköposti henriikka.simola@fmi.fi 25.3.2011. Luettu 25.3.2011.

Sydänmetsä, V. 2010. Yritys muuttuu – arvot säilyvät. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.prt-forest.fi/yritystarina.php>. Luettu 1.4.2011.

TaniPlan Ky. 2010. Lasiputkilämmönsiirtimet. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.taniplan.fi/userData/taniplan-ky/rekuperatiiviset-siirtimet-pdf/AF-lasiputkisiirimet.pdf>. Luettu 23.3.2011.

Voutilainen, M., Jussila, A., Kuikka, K., Mononen, M. & Vuorenmaa, M. 1993. Puutekniikka 3. 1.-2. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

MITTAUSPÖYTÄKIRJA - MAALAAMON POISTOILMOJEN ENERGIAMITTAUKSET, MELLANO OY

Paikka, Sijainti, Pvm.
POISTOILMOJEN MITTAUKSET
16.3.2011
MELLANO OY
Kivistöntie 36
73100 Lapinlahti
Puh. 0207707700

Mittalaitteisto:
Lämpötila- ja kosteusmittari: Väisälä HM41
Kalibroitu: 29.12.2010, certificate number: 702599

Virtausmittari: siipipyöräanemometri TESTO 435
Kalibroitu: 2010

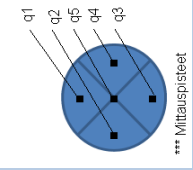
Sääolosuhteet: Lapinlahti, Maaninnan haivaintoasema
Lämpötila -0,3 °C
Kosteus 55 %
Kaspepiste -8,2 °C
Luoteistuulta 2 m/s
Puuuska 5 m/s (12:40)
Paine 999,5 hPa

Mittaukseen mahd. vaikuttavat häiriötekijät:
Mittauskohtien suojatärsäkydet mahd. häiriötekijöihin eivät oleet aina vaatimusten mukaisia. Mittauskohdat pyrittiin kuitenkin valitsemaan parhaiden mahdollisten olosuhteiden mukaisesti. Laskemassa ei ole huomioitu suojatärsäkyshäiriöitä.

Mittalaitaja valvot:
Tomi Pekkarinen
Tuomo Kangasrääsiö

Mittausten avustaja:
Tero Nikkarinen

Lisätiedot:
Opinäkitytyö, Pintakäsittelyn energiankäytön selvitys.
Mittausmenetelmänä käytetty 5 pisteen järjestelmää.
Lisäksi tehty vertailumittaukset 9 pisteen järjestelmällä.
Tiiviuusvirtojen määrittelyssä käytetty kahta mittaria, jotta
mittausten oikeellisuutta voitiin verrata.



q=tilavuusvirta l/s *siipipyöräanemometri, ka.virtausnopeus, 5 mittauspistettä **siipipyöräanemometri, ka.virtausnopeus, 9 mittauspistettä *** Mittausarvot 5 eri pisteestä VelocCalc mittarilla															
MITTAUSTULOKSET															
Kohta	Mittaus	Putken halk. Ø (mm)	Lämpötila °C	Abs g/m³	RH %	Td (°C)	* 5		** 9		VELOCICALC MITTARI ***			ka.	
Halli-ilma m.kone 1	1		16,9	4,1	28,7	-1,3		v (m/s)		v (m/s)	q1(l/s)	q2(l/s)	q3(l/s)	q4 (l/s)	ka. q (l/s)
	2														
P 1.1	1	500	13,2	3,3	29,5	-4,2		21,32		21,58	4160	4250	4020	3890	4090
	2														
P 1.2 LTO-tulo	1	315	34,2	4,0	10,5	-1,2		11,82		13	880	995	985	940	950
	2														
P1.3 LTO-jälkeen	1	***	32	4,7	13,8	0,9									

[illegible]

[illegible]

POISTOILMOJEN ENERGIALASKUISSA KÄYTETYT KAAVAT

Laskenta-kaavat:

Tilavuusvirta:

$\dot{V} = A \cdot v$

Tilavuusvirta m³/s

Massavirta:

$\dot{m}_v = \dot{V} \cdot 1,20 \text{ kg} / \text{m}^3$

Tiheytenä käytetty standarditiheyttä 1.20kg/m³

Entalpia:

$h = c_p \cdot T + x(l_h + c_v \cdot T)$

Vaihtoehtoinen kaava entalpiain määrittelymiseksi.

Energia/teho:

$\dot{Q}_{ilmoitus} = \dot{m}_h \cdot (h_s - h_a)$

Laskennassa tarkastellaan sisään tulevan ja poistuvan ilman sisäenergiaa.

Entalpia-arvo(t) (kJ/kg °C) määritetään Mollieri x-diagrammista tai PsychTool-ohjelman avulla.

LASKENTA ESIMERKKI - POISTO 1.1, PÄIVÄLLE 16.03.2010

POISTO 1.1

Putken virtausala:

$A = \pi \cdot r^2$

$A = 0.196349541 \text{ m}^2$

Tilavuusvirta:

$\dot{V} = A \cdot v$

$\dot{V} = 4.186172211 \text{ m}^3/\text{s}$

Massavirta:

$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$

$\dot{m} = 5.023406653 \text{ kg/s}$

Poistoilman teho:

$P = \dot{m} \cdot (h_s - h_a)$

$P = 71.86987899 \text{ kJ/s} = \text{kW}$

Poistoilman teho päivässä 16h

$P_{16h} =$

1149.918064 kWh

Entalpiain määrittäys:

Suoritetaan kostean ilman Mollier-käyrästä tai PsychTool-ohjelmasta

Ulkoilman entalpia 16.03:

5.928 kJ/kg

Poisto 1.1 entalpia:

20.235 kJ/kg

ILMAN STANDARDITIHEYYS (20°C) =

Poistoilman puhallus päivässä kahden työvuoron aikana noin 16 h

1.2 kg/m³

HUKATTAVAN LÄMMÖN ENERGIAA VOIDAAN VERRATA KAUKOLÄMMÖNHINTAAN:

SAVON VOIMA HINNASTO:

Arvonlisäveroton hinta 59.29 euroa/MWh

Arvonlisäveroton hinta 48.20 euroa/MWh

MELLANO OY:N KAUKOLÄMMÖNHINTA:

41 €/MWh

KAUKOLÄMPÖ

0.0593 €/kWh

KAUKOLÄMPÖ

0.0482 €/kWh

KAUKOLÄMPÖ

0.041 €/kWh

POISTOILMOJEN ENERGIALASKELMAT KUUKAUSI-JA VUOSITASOLLA													
Kaukolämpö		0,041 €/kWh		Työpäivän aikana puhallus käynnissä 10h, kuukaudessa noin 22 työpäivää									
Mittauspi- ste	Mittattuano	TAMMI	HELMI	MAALIS	HUHTI	TOUKO	KESÄ	HEINÄ	ELO	SYS	LOKA	MARRAS	JOULU
1.1													
	POISTOILMAN kW	173,85	149,95	101,77	36,65	-29,94	-44,54	-143,50	-82,65	-32,72	29,75	94,83	158,82
	POISTOILMA kWh/d	2781,52	2399,26	1628,39	586,33	-479,03	-712,68	-2296,06	-1322,32	-523,56	476,06	1517,23	2541,12
	Poistoilma kWh/kk	61193,46	52783,71	35824,53	12899,31	-10538,71	-15678,98	-50513,29	-29091,07	-11518,31	10473,28	33379,05	55904,65
	KOKO VUODEN ENERGIA kWh ja €					262457,99 kWh						10761 €	
1.2													
Ennen LTO-laitetta	POISTOILMAN kW	63,88	58,62	48,02	33,70	19,05	15,84	-5,93	7,46	18,44	32,18	46,50	60,57
	POISTOILMA kWh/d	1022,03	937,94	768,37	539,15	304,80	253,41	-94,89	119,30	295,01	514,89	743,92	969,15
	Poistoilma kWh/kk	22484,61	20634,72	16904,20	11861,34	6705,67	5574,96	-2087,55	2624,70	6490,19	11327,68	16366,27	21321,23
	KOKO VUOSI €					142295,57 kWh						5834 €	
1.3													
LTO-laitteen jälkeen	POISTOILMAN kW	63,03	58,62	48,02	33,70	19,05	15,84	-5,93	7,46	18,44	32,18	46,50	60,57
	POISTOILMA kWh/d	1008,41	937,94	768,37	539,15	304,80	253,41	-94,89	119,30	295,01	514,89	743,92	969,15
	Poistoilma kWh/kk	22185,11	20634,72	16904,20	11861,34	6705,67	5574,96	-2087,55	2624,70	6490,19	11327,68	16366,27	21321,23
	KOKO VUOSI €					141996,07 kWh						5822 €	
2.1													
	POISTOILMAN kW	176,71	157,27	118,06	65,06	10,87	-1,01	-81,54	-32,02	8,61	59,45	112,41	164,48
	POISTOILMA kWh/d	2827,39	2516,31	1888,98	1040,97	173,99	-16,16	-1304,69	-512,28	137,75	951,23	1798,52	2631,76
	Poistoilma kWh/kk	62202,62	55358,85	41557,63	22901,30	3827,68	-355,43	-28703,25	-11270,06	3030,48	20927,03	39567,52	57898,64
	KOKO VUOSI €					307271,74 kWh						12598 €	
2.2													
	POISTOILMAN kW	141,59	127,35	98,63	59,80	20,10	11,39	-47,61	-11,33	18,44	55,69	94,48	132,64
	POISTOILMA kWh/d	2265,51	2037,61	1578,01	956,72	321,54	182,24	-761,78	-181,23	295,00	890,98	1511,73	2122,19
	Poistoilma kWh/kk	49841,30	44827,34	34716,12	21047,90	7073,95	4009,27	-16759,25	-3987,14	6489,90	19601,48	33258,11	46688,07
	KOKO VUOSI €					267553,46 kWh						10805 €	
2.3													
	POISTOILMAN kW	21,93	20,28	16,95	12,46	7,86	6,85	0,01	4,22	7,66	11,98	16,47	20,89
	POISTOILMA kWh/d	350,93	324,52	271,27	199,29	125,70	109,56	0,18	67,45	122,62	191,67	263,59	334,32
	Poistoilma kWh/kk	7720,36	7139,44	5967,96	4384,36	2765,34	2410,27	4,03	1483,81	2697,67	4216,78	5799,03	7355,02
	KOKO VUOSI €					51944,06 kWh						2130 €	

[illegible]



ILMATIETEENLAITOS
Ilmastokeskus



MAANINKA HALOLA

	Keskilämpötila (°C)
tammikuu 2010	-16,6
helmikuu 2010	-12,7
maaliskuu 2010	-5,4
huhtikuu 2010	3,3
toukokuu 2010	11,4
kesäkuu 2010	13,4
heinäkuu 2010	21,5
elokuu 2010	15,9
syyskuu 2010	10,1
lokakuu 2010	3,6
marraskuu 2010	-4,8
joulukuu 2010	-14,2

ILMATIETEENLAITOS
Ilmastokeskus

MAANINKA HALOLA

	Keskimääräinen suhteellinen kosteus (%)
tammikuu 2010	87
helmikuu 2010	87
maaliskuu 2010	85
huhtikuu 2010	80
toukokuu 2010	70
kesäkuu 2010	65
heinäkuu 2010	67
elokuu 2010	73
syyskuu 2010	86
lokakuu 2010	87
marraskuu 2010	93
joulukuu 2010	90

Mittausolosuhteet Lapinlahtea lähimpänä olevalla säähavaintoasemalla mittauspäivänä 16.03.2011 - Ilmatieteenlaitos

Tuorein säähavainto: Maaninka, Halola 16.3.2011 15.00 Suomen aikaa

Lämpötila -0,3 °C

Kosteus 55 %

Kastepiste -8,2 °C

Luoteistuulta 2 m/s

Puuska 5 m/s (12:40)

Paine 999,5 hPa

Lumensyvyys 74 cm (8:00)

Viimeisimmät 2 vuorokauden havainnot

